TERRESTRIAL PHOTOVOLTAIC DEVICES AND SYSTEMS in the EUROPEAN COMMUNITIES

by

J. H. SIMPSON
March ,1982

Prepared for the
Conservation and Renewable Energy Branch
Department of Energy, Mines and Resources
Ottawa, Canada
under
Purchase Order No. 1495846
Requisition No. 23380-1-6734

Project Authority: The Deputy Director General
Conservation and Renewable
Energy Branch
Energy, Mines and Resources

Project Officer: Dr. G. Winstanley

COSIM SOLAR RESEARCH LTD.
2184 Braeside Avenue
OTTAWA, CANADA K1H 7J5

TABLE OF CONTENTS

		PAGE
ACKNOWLEDGEMENTS		
LIST OF ABBREVIATIONS		
EXECUTIVE SUMMARY		i
1.	INTRODUCTION	1
2.	INTERNATIONAL SUPPORT OF PHOTOVOLTAIC ACTIVITIES IN EUROPE	2
	2.1 Support by the Commission of the European Communities	2
	2.2 Activities of World Organizations	5
3.	THE GENERAL INDUSTRIAL SITUATION IN EUROPE	6
4.	RESEARCH AND DEVELOPMENT ON PHOTOVOLTAICS IN EUROPEAN COUNTRIES	8
5.	NATIONAL PROGRAM OBJECTIVES AND METHODS	9
	5.1 Present Costs	9
	5.2 Goals	9
	5.3 Methods	10
	5.3.1. Improvements in Device and Module Technology	10
	5.3.2 Block Purchases for Public Institutions	11
	5.3.3 Demonstration and Pilot Plant Projects	11
6.	NATIONAL PROGRAM ORGANIZATION AND FINANCING	12
7.	CONCLUSION	19

ACKNOWLEDGEMENTS

The writer acknowledges with gratitude the time and efforts spent by many individuals in describing the photovoltaic situation in Europe and demonstrating operations in research laboratories and factories. Special thanks are due to Y. Chevalier at COMES in Paris for arranging visits to French companies and institutions, to Dr. W. Palz and G. Grassi at the CEC in Brussels and to Prof. R. J. van Overstraeten at the Catholic University of Leuven, for their descriptions of CEC programs and their outlines of government, industrial and academic efforts in the countries of western Europe.

LIST OF ABBREVIATIONS

This list identifies most of the abbreviations used in this report. Initials that have become acronyms, such as AEG and OMERA-SEGID are omitted.

ACE:	Adriatica Componenti Elettronici SpA
ACEC:	Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi
CEA:	Commissariat à l'Énergie Atomique
CEC:	Commission of the European Communities
CEES:	Centre d'Études d'Électronique des Solides
CEN:	Centre d'Études Nucléaires
CGE:	Compagnie Générale d'Electricité
CIPEL:	Compagnie Industrielle des Piles Électriques
CISE:	Centro Informazione Studie ed Esperienze
CNRS:	Centre National de la Recherche Scientifique
COMES:	Commissariat à l'Énergie Solaire
CRN:	Centre de Recherches Nucléaires
ENE:	Énergies Nouvelles et Environnement
ENEL:	Ente Nazionale per l'Energia Elettrica
ENI:	Électro Navale et Industrielle N.V. (Belgium)
ENI:	Ente Nazionale Idrocarburi (Italy)
ENSC:	École Nationale Supérieure de Chimie
IDE:	Industrie Développement Énergie SA
IGFV:	Institut fur Grenzflächenforschung und Vakuum Physik
INPN:	Institut de Physique Nucléaire
ITO:	Indium-tin oxide
KFA:	Kernforschungsanlage
LCIE:	Laboratoire Central des Industries Électriques
L de M:	Laboratoires de Marcoussis
LEP:	Laboratoire d'Électronique et de Physique Appliquée
MAN:	Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg
MIS:	Metal - Insulator - Semiconductor
PUK:	Péchiney Ugine Kuhlmann

LIST OF ABBREVIATIONS cont'd

SAFT:	Société des Accumulateurs Fixes et de Traction
SERI:	Société d'Études et de Réalisations Industrielles
SIS:	Semiconductor - Insulator - Semiconductor
SNIAS:	Société Nationale Industrielle Aérospatiale
UAM:	Univ. d'Aix-Marseille
USTL:	Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc

EXECUTIVE SUMMARY

This report outlines the current (1981) technical activities on terrestrial photovoltaics (PV's) in the (western) European Communities.

In addition to national programs in most countries, general support is provided by the Commission of the European Communities (CEC) in the following forms:

(i) Up to 50% of the cost of 40 R and D contracts on photovoltaics in eight countries. The remainder is provided by the country concerned. For 1980-83 the CEC funding is $4.6 million* and it covers subjects ranging from silicon material, through various techniques and newer (thin-film) materials to system development and concentration methods.

(ii) About $11 million over the 1981-83 period assigned to the 19 PV Pilot Projects listed in Table 1. The CEC support covers about one-third of the total funding. These projects are intended to supply data on operation in many parts of western Europe and to improve the capability to produce larger and more suitable PV power plants.

In addition to this financial support the CEC organizes international meetings and workshops. Other organizations involved in supporting and assessing energy R and D are UNESCO, the World Bank and the International Energy Agency.

An impression of the general industrial situation in western Europe can be obtained from Table 2. From this it can be seen that the important material at present is silicon and that an American company Solarex is heavily involved in joint arrangements with groups in many countries. The dominant countries on the European scene are France and W. Germany.

*All CEC funding figures are in American dollars at the February 1981 exchange rate: 1.00 European Currency Unit (ECU) = $1.23 U.S.
Other rates are annual averages from the IMF International Financial Statistics.

TABLE I

Technical data of photovoltaic pilot projects

Peak power in KW	Site	Application
300	Island of Pellworm (Germany,FR)	Power supply for a vacation centre (Kurhaus)
100	Vester Beogobjerg near Korsoer (Denmark)	Power supply to a village
100	Kythos Island (Greece)	Power supply to a village
80	Alicudi Island (Italy)	Electrification of an island with 120 inhabitants
80	Marchwood near Southampton, later Scottish island (United Kingdom)	Power supply to the grid
70	Verona (Italy)	Fresh water pumping
65	Tremiti Islands (Italy)	Water desalination
60	Réunion Island, Indian Ocean (France)	Power supply to 100 dwellings situated in a former volcanic crater
50	Montpellier (France)	Power supply to FM transmitter of Télédiffusion de France
50	Nice (France)	Nice airport power management and control
50	Fota Island, near Cork (Ireland)	Electricity for a dairy farm
50	Terschelling Island (Netherlands)	Power supply to a marine training school
50	Crete Island (Greece)	Electrification of an isolated village
45	Giglio Island (Italy)	Water disinfection, icemaking for agricultural coldstore
44	Rondulinu Cargese, Corsica (France)	Power supply to dwellings, a dairy and a workshop, plus water pumping
40	Chevetogne, Province of Namur (Belgium)	Powering solar heated swimming pool
40	Adrano, next to "Eurelios" plant	Comparison with thermodynamic solar system of Eurelios
40	Olen, Province of Antwerp (Belgium)	Hydrogen production by electrolysis for Hoboken semi-conductor factory
30	Erpeldange (Luxembourg)	Peak power supply to grid in combination with hydrogenerator

T2.1

TABLE 2

Countries and Companies in the PV Industry in Europe

Manufactured Product	Prominent Countries	Processes and Companies
Silicon Material	France	Developing solar grade silicon (PUK, Rhône Poulenc Industries)
	W. Germany	Prominent supplier of semiconductor grade (Siemens) and polycrystal solar grade silicon (Wacker) for Europe and elsewhere.
	Italy	ENI to become a silicon feedstock supplier.
Silicon Devices and Modules	Belgium	Indigenous (Univ. of Leuven) screen-printed mono- and poly-cells produced by Belgosolar. Semix (Solarex), poly-cells produced by ENE.
	France	Mono- and poly-crystal devices and modules produced at Photowatt International SA. Encapsulation being improved and automated. Poly-cells (Solarex Semix) at France-Photon.
	W. Germany	Mainly polycrystal devices and modules (AEG - Telefunken). Production capacity greater than 1.0MWp per annum. Solar monocrystal production (Siemens) starting in 1982.
	Italy	Several companies recently involved include state-owned Ansaldo (monocrystal devices and modules), Solaris (licensee of Solarex), Elias (licensee of Solec International) and ACE (Siemens).

TABLE 2 cont'd

	Netherlands	Holecsol starting production of cells and modules (Solarex technology).
	Switzerland	New semicrystal wafer plant using Solarex Semix technology to be built by Intersemix S.A.
	United Kingdom	Lucas / BP Solar Systems buys cells and encapsulates them to form modules for use in their systems.
Cadmium-Cuprous Sulphide Cells and Modules	France	Photopower spray cells (plant in U.S.)
	W. Germany	NUKEM evaporated cells (Univ. of Stuttgart). Production in autumn 1982.
PV System Components	Belgium	ACEC, a large electrical company, develops and manufactures system components.
	France	CGE groups supply batteries (Fulmen, Tudor, SAFT-CIPEL). Power conditioning equipment and other components obtained from CGE subsidiaries and small companies. Moteurs Leroy-Somer and subsidiaries supply all components as well as modules (France-Photon) to form complete systems. OMERA-SEGID supplies power conditioning equipment and builds complete systems. SNIAS and Jeumont-Schneider supply dc to ac converters. Many smaller companies supply system components.
	W. Germany	AEG-Telefunken and Siemens and many smaller companies make components. Varta is a major supplier of batteries for PV systems.

TABLE 2, cont'd.

	United Kingdom	Lucas and their suppliers make components for systems. Oldham is a major supplier of batteries for PV systems.
	Other Countries	Many large and small companies supply regulators and other power conditioning equipment.
Complete Systems	Belgium	ENE supplies systems. ACEC heavily involved in systems work.
	Denmark	Danish Energy Technique Ltd.
	France	Photowatt, Moteurs Leroy-Somer, OMERA-SEGID and SAFT-CIPEL are prominent systems suppliers.
	W. Germany	AEG-Telefunken and Dornier System GmbH are major suppliers.
	Italy	SES is involved in systems work.
	United Kingdom	Lucas / BP supplies complete systems. SOLAPAK supplies systems and conditioning equipment using Solarex modules. General Technology Systems Ltd. develops PV coolers.
Equipment supplied by PV systems	All countries in western Europe	Motors, pumps, refrigerators, fluorescent lamps etc. designed for low-loss operation are made or under development in most countries.

Research and development in the European Communities is much more widespread than the industrial efforts just mentioned. Table 3 of the report, which is too large to include in this summary, lists the many companies, government laboratories and universities that are involved in all countries in western Europe.

As in the U.S.A. the national program objectives in European countries are to lower the cost of PV systems and to increase the markets available. The present lowest module cost in Europe (in France and W. Germany) is roughly competitive with the U.S. cost at about $10/Wp and the installed system cost ranges from $20 to $30/Wp. This includes regulators, batteries, dc to ac converters, etc. The French objective, which seems to be typical and is believed to be achievable, is to reduce module costs to $3 to $4/Wp by 1985 and to reduce system prices to $8 to $15/Wp. This is much less ambitious than the American objective ($0.80/Wp in 1980 dollars by 1986) but it is felt that the French objective, if achieved, will open up a large number of new markets in remote areas.

National Program Organization and Financing for 1980, the most recent year for which complete data are available, is described in detail in the report. The two most important programs are those of France and W. Germany and these may be summarized as follows:

France: Programs are partially financed and largely coordinated through the Commissariat à l'Énergie Solaire (COMES) a powerful and well-run government group. The COMES budget for 1980, which covered subjects ranging from R and D to system installations, was $4.6 million (about $7.5 million 1981). Contributions from other government departments for public installations and Third World (mainly African) projects is believed to be about three to four times the above figure. Contributions are also made by industry but no figures are available.

Commercial (modules and systems) operations in France are dominated by Photowatt International SA a member of the Compagnie Générale d'Électricité (CGE) group of companies and by France-Photon which is jointly owned by Moteurs Leroy - Somer and Solarex. OMERA - SEGID is an important systems company and many smaller companies make systems components. Many government, industrial and university laboratories are involved in the French R and D effort.

W. Germany: PV activities are supported and coordinated by the Federal Ministry of Research and Technology and administered by the Project Management Staff for Energy Research (PLE) at the Jülich Nuclear Research Establishment (KFA). The program emphasizes commercialization of new technologies as soon as possible and industry is required to fund part of project costs. Government laboratories are not heavily involved. Much of the longer term research is carried out in universities. In 1980 the total expenditure (government and industry) on Research, Development and Demonstration (RD&D) was about $58 million.

The important W. German companies in the PV device and module field are Wacker-Heliotronic, which supplies silicon to many countries, and AEG-Telefunken which makes polycrystal silicon devices, modules and systems. Siemens, a major monocrystal supplier for the semiconductor device industry, intends to produce photovoltaic material and is also involved in many aspects of PV systems. Many smaller companies make systems equipment.

Data on other countries, many of which are rapidly increasing their PV efforts, are included in the report. Worthy of specific mention is Italy whose industry is advancing rapidly and Belgium which has started industrial production of a low-cost silicon cell using screen-printing to apply doping materials, electrodes, anti-reflection coatings, etc. Most other countries are mainly involved in R and D and/or systems manufacture.

In view of the enthusiasm and organization in the PV field in Europe and the aggressiveness of the large commercial groups it is concluded that the western European Community (including Greece) will play a major part on the world PV scene.

1. INTRODUCTION

The purpose of this report is to outline current (1981) technical activities on photovoltaics in the European Communities including research, technological development and applications, and hardware production. The information on these activities was obtained from documents of the Commission of the European Communities (CEC) and the International Energy Agency and from programs of the major actors such as France and West Germany. In addition outlines and opinions of a more informal nature were obtained from persons that are prominent in the European photovoltaic fraternity and are well informed about the government, industrial and university programs on photovoltaic (PV) devices and systems.

One of the most important characteristics that strikes an outside observer of the European PV scene is the great enthusiasm of the participants in all phases of the activity. There is an evident belief that photovoltaics can make an important contribution, in the short run, to the quality of life in remote areas of developing countries and in isolated locations in Europe itself. There is also a general conviction that, in the long run, terrestrial photovoltaics will make a significant contribution of the order of several percent to the power requirements of many countries.

Some of the causes of this general enthusiasm can be determined from publications such as the outline of the Energy Research and Development Programme 1979-1983 of the CEC (published in Brussels on 4 August 1978) and from administrators and advisors on national programs. Briefly, some of the factors leading to this partiality for photovoltaics are:

(i) They have the capacity of converting the diffuse as well as the direct part of sunlight into electricity and are therefore most promising devices for producing electricity from solar radiation in the relatively unfavourable climate of the European community.

(ii) In most parts of Europe a PV power plant will be more suitable than a thermomechanical solar plant because the economics of solar thermomechanical

plants is only reasonable for large units. Also, in addition to their advantages in diffuse light, PV panels are static and virtually maintenance free and can be better integrated into the landscape.

(iii) Even in 1978 a rechargeable battery charged by a PV panel was more economical than dry batteries.

(iv) By 1983-5 flat-plate (non-concentrating) PV panels will be competitive with diesel generators for loads ranging to at least 10 KW.

(v) In isolated villages in developing countries 10 watts per inhabitant covers TV, light, grain mills etc. and there are a billion inhabitants of the world in this situation. The potential markets for PV systems in these areas are thus enormous.

In view of these factors and the general attitude among PV workers it is not surprising that the industrial effort on PV systems started to blossom in early 1980. In addition to a large R and D effort, mainly on PV devices and modules, by universities, government laboratories and large companies there is a host of large and small companies developing and manufacturing "balance of system" components such as regulators, converters (dc to dc and dc to ac) batteries, motors and pumps, especially for PV applications.

2. INTERNATIONAL SUPPORT OF PHOTOVOLTAIC ACTIVITIES IN EUROPE

2.1 Support by the Commission of the European Communities

The CEC is the largest international factor in the support of PV activities in Europe. It's "Second Solar Energy R & D Programme 1979-83", which is now about half complete, totals 46.0 million European Currency Units (ECU), which in February 1981 was equivalent to 56.6 million American dollars*. This covers eight projects, of which Photovoltaic Power Generation (Project C) is one. Others in-

* 1.00 ECU = $1.23 U.S. Rates for national funding in the remainder of this report are annual averages from the IMF International Financial Statistics.

clude Solar Energy Applications to Dwellings, Energy from Biomass, Wind Energy etc. The budget assigned to photovoltaics for the above period is 15.9 million ECU or about $19.6 million.

Research and Development contracts supported by this funding are spread over eight countries and most run from July 1980 to June 1983. The CEC funding is 3.75 million ECU or $4.6 million which is less than 50% of the total cost. The remainder is borne by the country or organization concerned. The latter include universities, government laboratories and companies. Seventeen contracts deal with silicon and include solar grade material, thin-film ribbon processes, methods of solar cell fabrication and encapsulation methods used in forming modules. Amorphous silicon is included in alternative cell materials and there are six a-si contracts of which three are in the U.K. There are also six contracts on CdS-Cu_2S, of which five are in France. The remaining alternative material is CdSe and there is one contract (in W. Germany) covering this material. There are three system study contracts and five on concentration methods including flourescent concentration and beam-splitting. The number of R and D contracts thus totals 37. In addition there are three contracts on spectral measurements under Project F: Solar Radiation Data. Fifteen of these 40 contracts are in France, eight in W. Germany and five in Italy. France and W. Germany have dominated PV activities in Europe for some time but Italy is now making a strenuous effort to become a major actor.

In addition to the above R and D support about $11 million is assigned, over a two year (1981-83) period, to the 19 photovoltaic pilot plant projects listed in Table 1. This financial support represents about one-third of the total cost of these projects, the remainder of which is borne by government or industrial groups in the country concerned. The sizes of the projects range from 30 KWp* to 300 KWp. At the time of its completion the latter will be the largest flat plate silicon installa-

* The number of peak watts (Wp) obtained from a PV module or a group (array) of such modules is its power output when solar radiation is falling on it at the rate of 1000 watts (1.0 KW) per sq. m. (m^2) at a defined ambient temperature (e.g. 25°C).

TABLE I

Technical data of photovoltaic pilot projects

Peak power in KW	Site	Application
300	Island of Pellworm (Germany,FR)	Power supply for a vacation centre (Kurhaus)
100	Vester Beogobjerg near Korsoer (Denmark)	Power supply to a village
100	Kythos Island (Greece)	Power supply to a village
80	Alicudi Island (Italy)	Electrification of an island with 120 inhabitants
80	Marchwood near Southampton, later Scottish island (United Kingdom)	Power supply to the grid
70	Verona (Italy)	Fresh water pumping
65	Tremiti Islands (Italy)	Water desalination
60	Réunion Island, Indian Ocean (France)	Power supply to 100 dwellings situated in a former volcanic crater
50	Montpellier (France)	Power supply to FM transmitter of Télédiffusion de France
50	Nice (France)	Nice airport power management and control
50	Fota Island, near Cork (Ireland)	Electricity for a dairy farm
50	Terschelling Island (Netherlands)	Power supply to a marine training school
50	Crete Island (Greece)	Electrification of an isolated village
45	Giglio Island (Italy)	Water disinfection, icemaking for agricultural coldstore
44	Rondulinu Cargese, Corsica (France)	Power supply to dwellings, a dairy and a workshop, plus water pumping
40	Chevetogne, Province of Namur (Belgium)	Powering solar heated swimming pool
40	Adrano, next to "Eurelios" plant	Comparison with thermodynamic solar system of Eurelios
40	Olen, Province of Antwerp (Belgium)	Hydrogen production by electrolysis for Hoboken semi-conductor factory
30	Erpeldange (Luxembourg)	Peak power supply to grid in combination with hydrogenerator

tion in the world. As noted in the table several of the PV installations are combined with other energy generators. In the case of the Belgian solar-heated swimming pool for example the heat is supplied by solar thermal collectors and the pumps are powered by the PV generator.

It should perhaps be emphasized that these pilot projects and the R and D projects above are chosen by the "Request for Proposals" route and that the winners were selected by the Commission in close collaboration with the member states.

Further important points mentioned by the CEC project administrators (Dr. W. Palz and Mr. G. Grassi) are the following:

(1) Projects supported by the CEC are not regarded as demonstrations but are pilot plants. It is expected that as a result of the experience gained with them the capability to produce larger and more suitable PV power plants will be developed.

(2) No power plant smaller than 5 KWp will be supported by the CEC. It is expected that these will be handled as commercial ventures.

(3) The CEC-supported projects involve all parts of the PV industry in western Europe.

(4) The CEC supports between 25% and 50% of the cost of a chosen project. A project requiring less than 25% support will not be accepted.

In addition to the above programs the CEC performs the following functions:

(a) In collaboration with national solar energy commissions and technical societies it organizes, at eighteen-month intervals, the well-known European Community Photovoltaic Solar Energy Conferences and, as the need arises, workshops on special topics in the photovoltaic field, such as the design and construction of systems.

(b) It operates a Photovoltaic Testing Centre at the Joint Research Centre, Ispra Establishment, Italy and sponsors a European Working Group on PV testing which arranges round robin tests at several laboratories.

(c) Within current cooperation agreements with developing countries it has started to support a number of prototype PV installations, particularly for water pumping in Africa.

(d) It supports and coordinates the production of a "European Atlas of Solar Radiation". The first volume entitled "Global Radiation on Horizontal Surfaces was published in 1979.

2.2 Activities of World Organizations

World organizations involved in furthering the development of photovoltaics in the developing countries include UNESCO and the World Bank. Consultants and companies in the European Communities are involved in projects of this type. An example is the testing of photovoltaic pumping systems for small-scale irrigation in the developing world. The consultants are Sir William Halcrow and Partners, London and various European and American suppliers of PV cells and associated equipment are involved.

An organization that plays a role in assessing and encouraging energy R and D is the International Energy Agency through its Committee on Energy Research and Development. From the point of view of the present outline the IEA reports have the disadvantage that the French figures are not included since France is not a member. However, the IEA Table of Government Energy Research, Development and Demonstration (RD & D) expenditures for 1980* is interesting in that it shows the amount spent by each IEA country on photovoltaic RD & D and its relation to that country's total energy RD & D expenditure. Thus, the W. German PV expendi-

* Energy Research, Development and Demonstration in the IEA Countries - 1980 Review of National Programmes published by OECD/IEA, Paris 1981.

ture (not including their contribution to the CEC program) was 29% of that of the United States, while that of Japan was about 8%. As a percentage of total energy expenditure the Greek figure for photovoltaics was highest at 5.6%, W. Germany was second at 3.6%, the U.S. was third at 3.1%, and Australia fourth at 3.0%. Canada was well down the list at 0.33%.

3. THE GENERAL INDUSTRIAL SITUATION IN EUROPE

As mentioned earlier the photovoltaic situation in Europe is dominated by France and W. Germany although Italy is now making a strong effort to become one of the major actors. Among smaller countries Belgium, the Netherlands and Spain are making significant contributions in research, device technology and systems design and application. The United Kingdom makes excellent contributions on device research and, at the other end of the scale in the design, assembly and application of systems. The prominent countries and companies in the different phases of PV material, device and system manufacture are mentioned in Table 2 with remarks, as necessary, concerning their present status.

Before the reader examines Table 2 in detail, the following factors should be mentioned:

(1) To the best of the writer's knowledge the situation described here applied in 1981. However, the situation in Europe is changing rapidly in both the commercial and technical areas and some important items may have been omitted.

(2) It will be noted that many of the company arrangements involve connections with the Solarex Corporation of the U.S.A. This capable and aggressive company is the dominant world-wide supplier of photovoltaic devices. It has adopted the policy of sharing ownership with national groups in a large number of countries. European "Solarex Associated Companies" listed in the Solarex International Newsletter are the following:

2.1 European Headquarters: Solarex SA Switzerland

2.2 France: France Photon (with Moteurs Leroy-Somer)

TABLE 2

Countries and Companies in the PV Industry in Europe

Manufactured Product	Prominent Countries	Processes and Companies
Silicon Material	France	Developing solar grade silicon (PUK, Rhône Poulenc Industries)
	W. Germany	Prominent supplier of semiconductor grade (Siemens) and polycrystal solar grade silicon (Wacker) for Europe and elsewhere.
	Italy	ENI to become a silicon feedstock supplier.
Silicon Devices and Modules	Belgium	Indigenous (Univ. of Leuven) screen-printed mono- and poly-cells produced by Belgosolar. Semix (Solarex) poly-cells produced by ENE.
	France	Mono- and poly-crystal devices and modules produced at Photowatt International SA. Encapsulation being improved and automated. Poly-cells (Solarex Semix) at France-Photon.
	W. Germany	Mainly polycrystal devices and modules (AEG - Telefunken). Production capacity greater than 1.0MWp per annum. Solar monocrystal production (Siemens) starting in 1982.
	Italy	Several companies recently involved include state-owned Ansaldo (monocrystal devices and modules), Solaris (licensee of Solarex), Elias (licensee of Solec International) and ACE (Siemens).

TABLE 2 cont'd

	Netherlands	Holecsol starting production of cells and modules (Solarex technology).
	Switzerland	New semicrystal wafer plant using Solarex Semix technology to be built by Intersemix S.A.
	United Kingdom	Lucas / BP Solar Systems buys cells and encapsulates them to form modules for use in their systems.
Cadmium-Cuprous Sulphide Cells and Modules	France	Photopower spray cells (plant in U.S.)
	W. Germany	NUKEM evaporated cells (Univ. of Stuttgart). Production in autumn 1982.
PV System Components	Belgium	ACEC, a large electrical company, develops and manufactures system components.
	France	CGE groups supply batteries (Fulmen, Tudor, SAFT-CIPEL). Power conditioning equipment and other components obtained from CGE subsidiaries and small companies. Moteurs Leroy-Somer and subsidiaries supply all components as well as modules (France-Photon) to form complete systems. OMERA-SEGID supplies power conditioning equipment and builds complete systems. SNIAS and Jeumont-Schneider supply dc to ac converters. Many smaller companies supply system components.
	W. Germany	AEG-Telefunken and Siemens and many smaller companies make components. Varta is a major supplier of batteries for PV systems.

TABLE 2, cont'd.

	United Kingdom	Lucas and their suppliers make components for systems. Oldham is a major supplier of batteries for PV systems.
	Other Countries	Many large and small companies supply regulators and other power conditioning equipment.
Complete Systems	Belgium	ENE supplies systems. ACEC heavily involved in systems work.
	Denmark	Danish Energy Technique Ltd.
	France	Photowatt, Moteurs Leroy-Somer, OMERA-SEGID and SAFT-CIPEL are prominent systems suppliers.
	W. Germany	AEG-Telefunken and Dornier System GmbH are major suppliers.
	Italy	SES is involved in systems work.
	United Kingdom	Lucas / BP supplies complete systems. SOLAPAK supplies systems and conditioning equipment using Solarex modules. General Technology Systems Ltd. develops PV coolers.
Equipment supplied by PV systems	All countries in western Europe	Motors, pumps, refrigerators, fluorescent lamps etc. designed for low-loss operation are made or under development in most countries.

2.3 England: Solopak Limited
2.4 Italy: Solaris SpA, Florence
2.5 Netherlands: Holecsol Systems, Eindhoven
2.6 Switzerland and Austria: Photonetics SA, Nyon Switzerland

A Belgian company Energies Nouvelles et Environnement (ENE) also uses Semix polycrystal silicon from Solarex in its cells.

In addition to their commercial operations the Solarex associated companies are involved in device and systems R and D, often in cooperation with university groups in the country concerned.

(3) Most of the development of system components and complete systems is strictly commercial. Many of the projects are supported by the CEC and by the countries involved but the companies concerned survive by selling their products. Product development, except in the case of some PV devices and modules, is apparently financed by profits from other company lines in the expectation that future sales will cover the development costs. An example of this procedure is the development of special batteries for photovoltaic applications. Such batteries differ from those in other applications in that they must have small internal leakage (low loss) and must be capable of surviving deep discharges. There is an additional severe restriction in that the rate of recharging may not be very rapid and they may operate for long periods in a partly charged condition. If these conditions cannot be met it is necessary to use an over-sized PV array and to waste power under some prolonged periods of intense sunlight. Developmental programs by battery manufacturers aimed at meeting these requirements have had little direct support from funds allocated to photovoltaics. The battery companies pursue such programs in the expectation that they will be able to increase their sales to PV system manufacturers as a result.

4. RESEARCH AND DEVELOPMENT ON PHOTOVOLTAICS IN EUROPEAN COUNTRIES

Research and development, ranging from fundamental studies through device and system development, is considerably more widespread in European countries than industrial and commercial operations. This probably arises from the following conditions:

(i) As in other countries such as the U.S.A., Australia and Canada, there is considerable scientific interest in photovoltaics and the challenge to improve efficiency and to apply new materials and techniques is very strong.

(ii) Several countries have no indigenous cell production except by licensees of Solarex and their national efforts are just developing. Belgium and Italy are examples in this group.

TAble 3 is an attempt to summarize the areas of photovoltaic R and D (including projects supported by the CEC) that predominate in the countries of western Europe and to give an indication of the important institutions involved. Some of this information is derived from contracts now terminated but it is assumed that the institution concerned continues to have an interest in the subject of the contract. As in the industrial area the situation is changing rapidly and some groups may be inadvertently omitted. However, a reasonable picture of the overall effort should be obtained.

It should perhaps be mentioned that the best sources of information on most of the projects mentioned are probably the Proceedings of the European Community Photovoltaic Solar Energy Conferences, distributed in North America by D.Reidel Publishing Company Inc. of Hingham, Mass. 02043, U.S.A. Three conferences, at eighteen months intervals, have thus far been held. The fourth will take place at Stresa, Italy in May 1982.

T3.1

TABLE 3

Research and Development on Photovoltaics in Western Europe

Area of R & D	Country	Organization
Silicon Material (including poly-silicon)	France	CGE- L de M CNRS Toulouse and associated universities ENSC, Paris France Photon (Moteurs Leroy-Somer) Nobel -Bozel Photowatt International SA Rhône - Poulenc Industries Univ. of Marseille
	Germany	AEG-Telefunken, Heilbronn Consortium f. Electrochem Industrie GmbH Siemens AG, Munich and university sub-contractors Wacker - Chemitronic GmbH Wacker - Heliotronic GmbH, Burghausen
Epitaxical and Vacuum Deposited Silicon	Belgium	Catholic Univ. of Leuven
	France	PUK
	Netherlands	Catholic Univ. of Nijmegen Eindhoven Univ. of Technology
Silicon Ribbon and Layers	France	Le Carbonne Lorraine, LEP, PUK CNRS: Bellevue, Lyon, Strasbourg Photowatt Int. SA.
	W. Germany	Siemens AG and university sub-contractors
Amorphous Silicon	France	CEA, Grenoble CEN, Saclay CNRS: Bellevue, Meuden Ecole Polytechnique, Palaiseau Ecole Polytechnique, Paris Thomson - CSF

TABLE 3 cont'd

Area of R & D	Country	Organization
	W. Germany	AEG-Telefunken Battelle Institut eV KFA Jülich Max Planck Institut Siemens AG Univ. of Kaiserlautern Univ. of Marburg Univ. of Stuttgart
	Italy	Univ. of Rome
	Netherlands	Delft Univ. of Technology
	United Kingdom	Plessey Research Ltd. Univ. of Cambridge Univ. of Dundee Heriot-Watt Univ. Edinburgh Univ. of Sheffield
Gallium Arsenide	France	CEES, Montpellier CNRS: Bellevue, Lyon, Toulouse Univ. of Marseille
	Ireland	University College, Cork
	Italy	CISE SpA, Segrate Milan
	United Kingdom	Plessey Research Ltd.
Cadmium Sulphide and Cadmium-Zinc Sulphide with Cuprous Sulphide	France	CEES-CNRS-USTL, Montpellier ENSC, Paris Univ. of Marseille UAM Aix-en-Provence UHA Mulhouse
	W. Germany	W.C. Heraeus GmbH NUKEM GmbH Univ. of Dortmund Univ. of Stuttgart

TABLE 3 cont'd

Area of R & D	Country	Organization
	United Kingdom	EMI Ltd. Hayes ICI Ltd. Runcorn Newcastle-on-Tyne Polytechnic Univ. of Durham
Other Thin Film Cells	Belgium	Catholic Univ. of Leuven (MIS & SIS Cells) Univ. of Ghent (heterojunction cells)
	France	CNRS, Bellevue (CdTe junctions) *USTL (InP/ITO and InP/CdS) *Univ. Pierre & Marie Curie, Paris (InSe cells) *Associated with CNRS
	W. Germany	Battelle Institut, Frankfurt (CdSe- MIS cells) KFA Jülich IGFV Siemens AG, Munich Univ. of Konstanz (MIS cells, alternative semiconductors) Univ. of Erlangen-Nürnberg (MIS cells)
	Italy	Lab. di Ricerche di Base, Rome (n-CdS/p-Si junction cells)
	Spain	CSIC Madrid Univ. of Madrid (Silicon - Tin Oxide MIS cells)
	United Kingdom	Newcastle Polytechnic ($CuInSe_2$ - CdS and InP cells) Univ. of Southampton (MIS cell theory)
Cell Processing	Belgium	Catholic Univ. of Leuven Belgosolar (Fabricable)
	Denmark	Univ. of Aarhus

TABLE 3 cont'd

Area of R & D	Country	Organization
	France	France-Photon Photowatt Int. SA Photon Power CNRS, Lyon CRN, Strasbourg LEP, Limeil - Brévannes
	W. Germany	AEG-Telefunken Battelle Inst. e.V. W.C. Heraeus GmbH NUKEM GmbH Siemens AG
	Italy	Ansaldo, Genoa Solaris SpA Univ. of Naples
	Netherlands	Catholic Univ. of Nijmegen State Univ. of Utrecht
	Spain	Univ. Politécnica de Madrid
Ion Implantation	Denmark	Technical Univ. of Denmark, Lyngby
	France	CGE - L de M CRN - Strasbourg INPN - Alsace
	Italy	CNR- Instituto LAMEL, Bologna Univ. of Bologna
	Netherlands	FOM Institute, Amsterdam

T3.5

TABLE 3 cont'd

Area of R & D	Country	Organization
Concentration and Beam Splitting (includes concentrating systems)	France	Boussois SA CEA, Saclay CNRS, Paris, Thiais, Toulouse, Valbonne SEP, Vernon Société National Elf-Aquitaine Société Européenne de Propulsion Univ. Paul-Sabatier, Toulouse
	W. Germany	Ahlemann & Schlatter, Bremen Fraunhofer Society for Applied Solid State Physics, Freiburg Leonhardt, Andra & Partner MAN, Munich Univ. of Karlesruhe, Bremen
	Italy	Ansaldo ENEL Phoebus Inst. of Experimental Physics of Polytechnic-Torino Inst. Ricerche G. Donegani, Montedison Univ. of Milan
	Spain	Inst. de Energia Solar (ETSIT) Univ. Politecnica de Madrid
Encapsulation	Belgium	Belgosolar (IDE) Catholic Univ. of Leuven
	France	CGE - L de M France Photon Photowatt Int. SA
	W. Germany	AEG-Telefunken J.M. Chemie NUKEM GmbH Resart - Ihm AG Siemens AG
	Italy	Gruppo Montedison

TABLE 3 cont'd

Area of R & D	Country	Organization
Systems, Components and Associated Equipment	Belgium	IDE, ACEC
(Some aspects covered in Tables 1 & 2)	Denmark	Danish Energy Technique Ltd. Odense Univ.
	France	Elf-Aquitaine France-Photon Moteurs Leroy - Somer OMERA-SEGID Photowatt Int. SA Pompes Guinard SEMA, SERI, SNIAS Télédiffusion de France, Montrouge CNRS, Toulouse LCIE LEP, Lemeil - Brévannes Ecole Supérieure d'Electricité Inst. de Chimie et Physique Industrielles de Lyon
	W. Germany	AEG-Telefunken ARGE KSB/Siemens Dornier System GmbH Siemens AG
	Netherlands	HOLEC Research Shell Int. Petroleum Co. Philips Eindhoven
Fundamental and related studies	All countries mentioned	Many universities, national research institutes, large companies

5. NATIONAL PROGRAM OBJECTIVES AND METHODS

The broad objectives of all national PV programs are to reduce the cost and increase the efficiency of PV power sources and the equipment (power conditioning equipment, motors, pumps, refrigerators etc.) which they supply. In this respect the French program is typical and the simplest procedure is perhaps to focus on it as an example. The pertinent data and goals are the following:

5.1 Present Costs

The 1981 minimum module price in quantity is about $10/Wp in both the U.S. and Europe. Lower prices have been obtained in the U. S. in special cases, but the commercial price in quantity is, in general, in the range of $10 to $12. The best European price is competitive with this.

Under the same conditions the cost for an installed system at present ranges from $20 to $30/Wp, depending on the type of system. This price may include regulators, batteries, dc to ac converters etc.

5.2 Goals

The 1985 goals for the French program are:

(i) To reduce the module price to $3 - $4/Wp (for large quantities in 1981 American dollars)

(ii) To reduce system prices to $8 to $15/Wp.

(iii) To obtain a good share of the world market, perhaps 20%.

The W. German goals are probably similar.

For the countries, such as Belgium and Italy, in which production is just starting these objectives may not be reached so quickly although they will probably be able to compete fairly soon in the small quantity market. Also some joint ventures with Solarex (e.g. France Photon) are competitive at present and more will become so as time progresses.

The French program and European programs in general are considerably less ambitious than the American program which aims at a 1986 cost of about $0.80/Wp in 1980 dollars. The general feeling in Europe is that the American cost reduction program is exaggerated intentionally to stimulate research and production but that the above objective is probably not realizable.

5.3 Methods

The methods chosen in the attempt to achieve these objectives are essentially the same in Europe as in the U.S.A. They may be summarized as follows:

5.3.1 Improvements in device and module technology with an accompanying reduction in costs. As can be ascertained from Table 3 many approaches are being followed to achieve these objectives. In the relatively short term these include:

(i) Reduction in the cost of silicon by using "solar grade" material which can be of somewhat lower quality than the silicon normally used in semiconductor devices. The amount of the reduction in cost must be balanced against the economic effects of the resulting reduction in cell efficiency. The main European work in this area is in W. Germany and, more recently, France.

(ii) Use of polycrystal silicon formed in such a way that the resulting cell efficiency is not much lower than that obtained with single crystal cells. The main saving relative to single crystal production arises from reductions in crystal costs and in the relatively large amounts of electrical energy used in the crystal-growing process. There is also a reduction in module and mounting cost arising from the improved packing factor of the rectangular polycrystal cells relative to circular single crystal cells. This helps to compensate for the somewhat lower efficiency of the polycrystal cells.

W. German companies (Wacker, AEG-Telefunken) were the first to exploit this area but American companies, especially Solarex, are actively using polycrystal silicon. Semix Inc. an American subsidiary of Solarex which produces polycrystal silicon has recently entered into a venture with Swiss, Italian and French partners to

incorporate in Switzerland a new company Intersemix S.A. as a licensee of Semix Inc. The Italian state-controlled partner, Ente Nazionale Idrocarburi (ENI) as well as Semix Inc. will supply silicon feedstock for this operation.

France is making strenuous efforts to develop its own sources of polycrystal silicon to replace the material (both semiconductor grade for monocrystal cells and solar grade polycrystal silicon) that is now imported. It is expected that these efforts will bear fruit in a few years, at most. The remaining countries of western Europe as well as French companies such as Moteurs Leroy-Somer and OMERA-SEGID will probably continue to rely on W.German and American sources of silicon for some time.

(iii) Other short-term possibilities for the reduction of costs are improved cell processing and encapsulation. While the major cost item at present is still the silicon material, automation and improved materials for both cell processing and encapsulation are undergoing considerable development.

(iv) In the medium term, perhaps before the above 1985-6 cost milestone, one or more of the film processes may be in full production at a competitive level. These include silicon ribbon and thin films of amorphous or polycrystal silicon as well as cadmium sulphide-cuprous sulphide films. They have the potential of eliminating the cost and the material losses that occur in slicing mono- or poly-crystalline ingots.

(v) In the longer term many other thin films or sintered materials show potential for low-cost low-energy cell construction. Most of these are in the research stage and considerable effort will be required to increase yields and efficiency.

5.3.2 Block purchases for public institutions is a method of lowering costs by increasing production. This procedure, which tends to produce a reasonably steady demand, is particularly important in France.

5.3.3. Demonstration and pilot plant projects are financed by the Commission of the European Communities and other international organizations.

Pilot plant projects, which are preferred by the CEC, are used to determine whether PV projects show promise in certain applications and to obtain experience with PV power supplies and their associated equipment using smaller installations than might eventually be required. The projects in Table 1 are typical examples.

In addition to the international financing mentioned in Section 2.2 many projects are supported by bilateral arrangements such as the German-Argentine cooperation agreement.

6. NATIONAL PROGRAM ORGANIZATION AND FINANCING

It is the purpose of this section to give brief summaries of the main national programs in Europe and how they are organized and financed. For some smaller countries and most newer members of the photovoltaic fraternity the industrial situation is changing rapidly and some comments may not be completely up to date. National budgets are given in American dollars for 1980, the last year for which complete information is available.

Austria (not an EC member): The government photovoltaic R & D budget was $0.83 million which is 15% of the total for renewables. There was no formal industry funding of PV-R & D.

Belgium: Support for the PV program is controlled by the Ministry of Science Policy. R & D support in 1980 was $0.37 million which was 6.3% of the total renewables budget.

Commercial operations are outlined in Table 2. Of particular interest is the Belgosolar venture in which the materials used in all major operations are applied by screen printing. Two of the CEC pilot projects (Table 1) are in Belgium.

Denmark: The government PV-R & D budget was $40,000 which is 1% of the total budgeted for renewables. This seems to have been spent largely in universities. A 100 KW CEC pilot project is in Denmark.

France: Programs are partially financed and largely coordinated through the Commissariat à l'Energie Solaire (COMES) a powerful and well-run government group whose PV budget in 1980 was about $4.6 million (about 20% of the renewable energy budget). The corresponding figure for 1981 is about $7.5 million. These figures include R & D, system development and pilot projects in government laboratories (e.g. CNRS laboratories), universities and industry (Tables 2 and 3) but do not include company contributions to joint projects. Other government contributions in ministries, purchases for public organizations, Third World projects, etc. are perhaps three to four times the above figures. They probably include many large commercial purchases but it is difficult to obtain exact information.

Of the main suppliers of modules listed in Table 2, France-Photon is 50% owned by Moteurs Leroy-Somer and 50% by Solarex (U.S.A.). Majority ownership of Photowatt International is held by Compagnie Générale d'Électricité (CGE)* through a holding company Société Francaise des Photopiles (SFP) and a subsidiary, SAFT Corporation of America. An American associated company Photowatt International Inc. formerly had an ownership and licencing arrangement with Dynacer Corp. (U.S.A.) through the latter's subsidiary Sensor Technology Inc. This has now been terminated and Photowatt Inc. is now completely owned by the French group which is seeking a new American partner.

The position of Photowatt International SA was considerably enhanced in early 1981 when it acquired a modern well-organized plant at Caen in Normandy formerly owned by La Radiotechnique Compelec (RTC), a Philips of Eindhoven subsidiary. RTC retained a small interest through ownership of 14% of SFP. Elf Aquitaine, the French national oil company, owns 35% of SFP.

A large number of smaller companies, as well as branches of the large companies mentioned in Table 2 make control and power-conditioning equipment in addition to pumps, motors, lights, refrigerators etc. especially designed for operation from PV systems. Two CGE battery groups, Fulmen and Tudor, make batteries that are particularly well-suited to PV applications. SAFT-CIPEL the battery giant is also a

* CGE is a large French electrical conglomerate that is expected to be nationalized shortly.

CGE subsidiary. An important aspect of the French situation which emerges from Table 3 is the predominance of government laboratories, especially those of the CNRS, in PV-R & D. In many cases these laboratories, sometimes in cooperation with university groups, do much of the basic research that is later extended by company laboratories such as the Laboratoires de Marcoussis and eventually is exploited commercially. An interesting example of this type of project is the RAD silicon ribbon technology which has advanced rapidly although it is probably about two years behind similar American technologies that have been developed over a much longer period.

W. Germany (Federal Republic of Germany): Terrestrial photovoltaic activities in W. Germany are supported and coordinated by the Federal Ministry of Research and Technology and administered by the Project Management Staff for Energy Research (PLE) at the Jülich Nuclear Research Establishment (KFA). The program emphasizes commercialization of new technologies as soon as possible and there is a preference for projects in industry rather than government laboratories. Much of the longer-term research is carried out in universities.

As a result of the above policy private industry in W.Germany carries out 92% of non-nuclear government-funded energy R & D. Industry is required to fund a portion of project costs. The government norm is 50% but it is often higher for photovoltaics which is termed a high-risk area. For amorphous silicon projects, for example, government funding is at the 80% level in large companies and 100% in universities and research institutes. Cadmium sulphide-cuprous sulphide funding follows a similar pattern. For projects closer to industrial realization, such as PV power systems, the level of government funding is usually 50% and production development funding may drop to 33%.

For 1980 the government expenditure on photovoltaic RD & D was $38.1 million. This probably represents about 65% of the total so that the private (mainly industry) contribution was about $20 million. The above figure of $38.1 million is 58% of the amount assigned to all renewables. In dollar value it is behind the U.S.A. but seems to be somewhat larger than that of France. In addition to its nor-

mal contribution to energy research in the European Community, Germany makes a substantial contribution to the IEA. The photovoltaic components of these cannot be estimated from the information available to the writer.

Of the German companies listed in Tables 2 and 3 the predominant supplier of modules and systems is AEG-Telefunken. Siemens is fairly heavily involved in the systems area and expects to become a module supplier. The important supplier of silicon material for Germany and many other countries is Wacker-Heliotronic GmbH. Many smaller companies manufacture PV components and specialized equipment operated from PV systems. Varda is well-known in Europe as a supplier of batteries for PV applications.

The proposed NUKEM production of evaporated CdS-Cu_2S cells is particularly interesting. Cells produced by this process (developed by Prof. W. H. Bloss at the University of Stuttgart) apparently do not suffer the deterioration common to many cells made of these materials and are readily integrated into groups to form modules having efficiencies in the 5 to 7% range.

Greece: Photovoltaic RD & D was supported at the rate of $0.47 million in 1980. this represents 15.7% of the total renewables budget. Greece is a relative latecomer in this field and its budget is increasing rapidly. As seen in Table 1 two large CEC projects are in Greece.

Ireland: The Irish budget for 1980 was $70,000 which represented 5% of the total renewables budget. Present efforts, about 50% supported by the CEC, seem to be mainly devoted to improvement of the solar radiation network, to special measurements and their analysis and to university R & D. A 50 KW power supply supported by the CEC (Table 1) is also underway.

Italy: The Italian government RD & D budget for photovoltaics in 1980 was $6.74 million which in dollar value was fifth in the world (following Japan) and was 30% of the total renewables budget. Support of renewables showed a real increase of

148% from 1978 to 1980 with the largest relative increases going to solar electric, both thermally-driven generators and photovoltaics. This is governed by a five-year National Energy Research Plan prepared by the Office of the Minister for Scientific and Technological Research.

Italian government support for R & D in photovoltaics is channeled to industry via joint projects and to universities. The industrial sector presumably includes state-owned companies such as Ansaldo the PV cell manufacturer and ENI the "hydro-carbon" company which will become a silicon feedstock supplier. The industry contribution to joint projects is about 90% of that made by the government.

The national electricity corporation ENEL is actively considering the utility aspects of photovoltaics in Europe and has a CEC contract for the development of a 100 watt concentrator module.

The active commercial scene in Italy involves, in addition to Ansaldo which makes monocrystal silicon panels, Solaris SpA a joint venture involving Montedison SpA and Solarex, ELIAS a licensee of the U.S. company Solec International and Adriatica Componenti Elettronici SpA (ACE) which is planning to establish production using the Siemens (monocrystal) technology.

Partly, no doubt, because of its climate Italy is the site of five of the CEC pilot projects mentioned in Table 1. An additional Italian proposal for a 1.0 MW project which would involve Ansaldo, is under consideration.

Netherlands: The PV budget in 1980 was $3.0 million, which was 16.6% of the total renewables budget. This was spent mainly in universities and in joint projects with industry. The additional contribution from industry was about 37% of the above amount.

One of the main actors in the photovoltaic industry in the Netherlands is Holecsol, a systems company which is now building for the production of cells and modules using the Solarex technology. It expects to be capable of producing 2 MW per year. Philips of Eindhoven, following the sale, to Photowatt SA, of its cell and module plant in France seems to have dropped device and module manufacture but

apparently retains interest in the development of systems and associated equipment. Their French subsidiary OMERA-SEGID is particularly strong in this area but the home plant in Eindhoven is also involved. In addition it would be surprising if development of promising new PV cells were not taking place.

Spain (not an EC member): As newcomer to the photovoltaic scene Spain spent $0.91 million or 5.3% of its total renewables budget on PV-R & D in 1980. Budgets for renewables increased by over 60% in real terms in 1979 and 1980. As seen from Table 3, R and D on photovoltaics was primarily a university function in 1980 and no data on industrial efforts are available.

Sweden (not an EC member): The Swedish expenditure on PV-R & D in 1980 was $500,000 which was 1% of a renewables budget whose main components support solar heating and cooling, and biomass. There is little information available on industrial participation in PV projects, although Sweden has an excellent industrial base for such work.

Switzerland (not an EC member): In 1980 Switzerland spent $710,000 on PV-R & D. This represents 8.4% of the total renewables budget. As a non-member of the European community it is not involved in major European projects but its industrial efforts are appreciable. It is involved with Austria in the Solarex associated company Photonetics SA. A new plant for the manufacture of PV modules using Semix material and Solarex technology will be built. A systems firm, Wind-Sun Energy, is involved in commercial projects in the Caribbean and Central America.

United Kingdom: The government 1980 PV-R & D effort was small on a per capita basis ($600,000, 2.4% of the renewables budget) and was largely confined to universities. Internal industrial funding of R and D on photovoltaics exists as noted in Table 3 but its magnitude is not known. Commercial systems made by British firms such as Lucas Energy Systems Ltd. (now Lucas / BP Solar Systems) are sold in many parts of the world. Solarpak Ltd., a Solarex associate, supplies systems and power conditioning equipment using Solarex modules. Oldham batteries for PV systems rank with the best in Europe. Pilkington Glass owns 80% of the U.S. company Solec International.

The above summary covers the efforts in the PV field of all western European nations (plus Greece) with the exception of Luxembourg which is normally associated with Belgium and Norway which in 1980 had no government funds specifically assigned to PV-R & D. While it is virtually certain that some work is underway in universities and industrial concerns in Norway, the amount is believed to be small and data concerning it are not available. Luxembourg is the site of a 30 KW pilot project (Table 1).

7. CONCLUSION

The purpose of this outline is to give the reader a fairly complete picture of the photovoltaic scene in western Europe. As will be apparent just from the projects involved and the R and D activities, it is a scene of action and enthusiasm. The advanced development and commercial activities are well planned. The R and D provides a firm base in areas such as amorphous silicon that seems reasonably close to realization while taking account of "long shots" that may eventually be winners.

Two aspects of the general situation impressed the writer. One was the cooperation between workers in different countries at both the academic and commercial levels. Each country naturally hopes to further its own activity but the commercial cross-linkages and particularly the connection through the European Community organization have fostered a cooperative attitude that is very encouraging.

The second impressive feature is the part played by the Commission of the European Communities in Brussels which seems to be the most important single factor in the coordination and direction of European efforts in the PV field. The Renewable Energy section of the CEC should be congratulated on the efficiency with which they organize the various activities described earlier and on the way in which member countries are consulted and play a part in major decisions on policy and contracts.

In conclusion, it seems apparent that the European Community will be a major factor in the future world PV scene. In addition to the strong central organization the abilities of strong national groups such as COMES in France and PLE at KFA Jülich in W. Germany as well as the aggressiveness of large commercial groups on the international scene bodes well for the future of western Europe in this field.

LES DISPOSITIFS ET LES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES TERRESTRES EN EUROPE DE L'OUEST

par

J. H. SIMPSON
(traduit de l'anglais par Gérard Chaplain)
mars 1982

Étude préparée
pour le bureau de la conservation et des énergies renouvelables
Énergie, Mines et Ressources Canada
Ottawa, Canada
sous
Commande n° 1495846
Référence n° 23380-1-6734

Responsable de projet: le directeur général adjoint
du Bureau de la conservation
et des énergies renouvelables,
Énergie, mines et ressources

Agent de projet: G. Winstanley

COSIM SOLAR RESEARCH LTD.
2184, avenue Braeside
OTTAWA, CANADA K1H 7J5

TABLE DES MATIÈRES

PAGE

REMERCIEMENTS

ABRÉVIATIONS

SOMMAIRE i

1. INTRODUCTION 1

2. SOUTIEN INTERNATIONAL DES ACTIVITÉS EN EUROPE 2
   - 2.1 Aide de la Commission des communautés européennes 2
   - 2.2 Activités des organismes mondiaux 5

3. SITUATION GÉNÉRALE DE L'INDUSTRIE PHOTOVOLTAÏQUE EN EUROPE 6

4. RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT DANS LES PAYS D'EUROPE 8

5. OBJECTIFS ET MÉTHODES DES PROGRAMMES NATIONAUX 9
   - 5.1 Prix actuels 9
   - 5.2 Objectifs 9
   - 5.3 Méthodes 10
     - 5.3.1. Progrès dans la technologie des dispositifs et des modules
     - 5.3.2 Achats en quantités pour les établissements publics
     - 5.3.3 Démonstrations et expériences pilote

6. ORGANISATION ET FINANCEMENT DES PROGRAMMES NATIONAUX 12

7. CONCLUSION 19

REMERCIEMENTS

Le rédacteur est reconnaissant aux nombreuses personnes qui ont dépensé temps et efforts à lui décrire la situation de l'Europe dans le domaine du photovoltaïque et à lui faire des démonstrations dans les laboratoires de recherche et les usines. Il remercie particulièrement Y. Chevalier du COMES, à Paris, d'avoir organisé la visite d'entreprises et d'établissements français, W. Palz et G. Grassi de la CCE, à Bruxelles, ainsi que R.J. Van Overstraeten de l'Université catholique de Leuven de lui avoir présenté les programmes de la CCE et exposé les efforts publics, privés et universitaires des pays de l'Europe de l'Ouest.

ABRÉVIATIONS

On trouvera ci-après la plupart des abréviations employées dans cette étude. Les initiales qui sont devenues des sigles, comme AEG et OMERA-SEGID, sont omises.

ACE:	Adriatica Componenti Elettronici SpA
ACEC:	Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi
CCE:	Commission des Communautés Européennes
CEA:	Commissariat à l'Énergie Atomique
CEES:	Centre d'Etudes d'Électronique des Solides
CEN:	Centre d'Etudes Nucléaires
CGE:	Compagnie Générale d'Électricité
CIPEL:	Compagnie Industrielle des Piles Électriques
CISE:	Centro Informazione Studie ed Esperienze
CNRS:	Centre National de la Recherche Scientifique
COMES:	Commissariat à l'Énergie Solaire
CRN:	Centre de Recherches Nucléaires
ENE:	Énergies Nouvelles et Environnement
ENEL:	Ente Nazionale per l'Energia Elettrica
ENI:	Électro Navale et Industrielle N.V. (Belgique)
ENI:	Ente Nazionale Idrocarburi (Italie)
ENSC:	Ecole Nationale Supérieure de Chimie
IDE:	Industrie Développement Énergie SA
IGFV:	Institut fur Grenzflächenforschung und Vakuum Physik
INPN:	Institut de Physique Nucléaire
KFA:	Kernforschungsanlage
LCIE:	Laboratoire Central des Industries Électriques
L de M:	Laboratoires de Marcoussis
LEP:	Laboratoire d'Électronique et de Physique Appliquée
MAN:	Maschinenfabrik Augsburg-Nurnberg
MIS:	Métal - isolant - semiconducteur
OIE:	Oxyde d'indium - étain

ABRÉVIATIONS, suite

ORTF:	Office de la Radio Télédiffusion Française
PUK:	Péchiney - Ugine - Kuhlmann
SAFT:	Société des Accumulateurs Fixes et de Traction
SERI:	Société d'Études et de Réalisations Industrielles
SIS:	Semiconducteur - isolant - semiconducteur
SNIAS:	Société Nationale Industrielle Aérospatiale
UAM:	Univer. d'Aix-Marseille
USTL:	Univer. des Sciences et Techniques du Languedoc

SOMMAIRE

La présente étude expose les activités qui sont en cours (1981) en Europe de l'Ouest, dans le domaine du photovoltaïque terrestre.

En dehors des programmes nationaux existant dans la plupart des pays, une aide est fournie par la Commission des communautés européennes (CCE) sous la forme suivante:

a) Jusqu'à 50 % de la valeur des marchés de R et D de huit pays portant sur l'utilisation de l'énergie photovoltaïque. Le reste est fourni par chaque pays concerné. Pour 1980-83, le financement par le CCE est de 4,6 millions de dollars américains* et couvre des sujets qui vont du silicium de base au développement de systèmes et aux méthodes de concentration, en passant par diverses techniques et les tout nouveaux matériaux (couches minces).

b) Affectation d'environ 11 millions de dollars, pour la période 1981-83, aux dix-neuf expériences pilote énumérées au tableau 1. L'aide de la CCE couvre environ un tiers du financement total. Ces expériences sont destinées à fournir des données d'exploitation dans de nombreuses régions de l'Europe de l'Ouest et à développer la capacité de produire des générateurs photovoltaiques plus puissants et plus adéquats.

En dehors de cette aide financière, la CCE organise des réunions internationales et des ateliers. Les autres organismes engagés dans l'aide à la R et D sur l'énergie et à son évaluation sont l'UNESCO, la Banque mondiale et l'Agence internationale de l'énergie.

On peut se faire une idée de la situation générale de l'Europe de l'Ouest, en regardant le tableau 2. On peut y voir que le matériau important est actuellement le silicium et qu'une société américaine, Solarex, collabore activement avec des groupes de nombreux pays. Les pays dominants de la scène européenne sont la France et l'Allemagne.

* 1.00 Unité de compte de la communauté européene (UCE) = 1.23 $ ÉU. Les autres taux sont des moyennes annuelles prises dans les statistiques financières internationales du FMI.

TABLEAU I

Caractéristiques des expériences pilote

Puissance de crête en kW	Lieu	Application
300	Île de Pellworm (R.F.A.)	Centrale d'un centre de vacances (Kurhaus)
100	Vester Beogobjerg près de Korsoer (Danemark)	Centrale de village
100	Île de Kythos (Grèce)	Centrale de village
80	Île d'Alicudi (Italie)	Électrification d'une île de 120 habitants
80	Marchwood près de Southampton, puis une île d'Écosse (R.-U.)	Centrale reliée au réseau
70	Vérone (Italie)	Pompage d'eau douce
65	Îles de Tremiti (Italie)	Dessalement de l'eau
60	Île de la Réunion, ocean Indien (France)	Alimentation de 100 habitations situées dans un ancien cratère de volcan
50	Montpellier (France)	Alimentation de l'émetteur FM de l'ORTF
50	Nice (France)	Gestion et régulation de l'électricité à l'aéroport de Nice
50	Île de Fota près de Cork (Irlande)	Alimentation d'une ferme laitière
50	Île de Terschelling (Pays-Bas)	Centrale d'une école de marine
50	Île de Crete (Grèce)	Électrification d'un village isolé
45	Île de Giglio (Italie)	Désinfection de l'eau, fabrication de glace pour un frigorifique agricole
44	Rondulinu Cargese, Corse (France)	Alimentation d'habitations, d'une laiterie, d'un atelier et d'une pompe à eau
40	Chevetogne, province de Namur (Belgique)	Alimentation d'une piscine à chauffage solaire
40	Adrano, près de la centrale "Eurelios"	Comparaison avec la centrale solaire thermodynamique d'Eurelios
40	Olen, province d'Anvers (Belgique)	Production d'hydrogène par électrolyse pour l'usine de semiconducteurs d'Hoboken
30	Erpeldange (Luxembourg)	Alimentation du réseau pendant les pointes parallèlement à une centrale hydro-électrique

T2.1

TABLEAU 2

Pays et sociétés engagés dans l'industrie photovoltaïque

Produits Product	Pays Countries	Techniques et sociétés
Silicium de base	France	Mise au point d'un silicium de qualité solaire (PUK, Rhône-Poulenc Industries)
	R.F.A.	Grand fournisseur de silicium de qualité semiconducteur (Siemens) et de silicium polycristallin de qualité solaire (Wacker) pour l'Europe et ailleurs.
	Italie	L'ENI va devenir un fournisseur de silicium de base.
Dispositifs et modules au silicium	Belgique	Fabrication de cellules originales (Univ. de Leuven) au silicium mono et polycristallin par sérigraphie chez Belgosolar. Fabrication de cellules au silicium polycristallin Semix (Solarex) chez ENE.
	France	Fabrication de dispositifs et de modules au silicium mono et polycristallin par Photowatt International SA. Encapsulation en cours d'amélioration et d'automatisation. Cellules au silicium polycristallin (Solarex Semix) chez France - Photon.
	R.F.A.	Surtout des dispositifs et des modules au silicium polycristallin (AEG-Telefunken). Capacité de production supérieure à 1 MWc par an. Production de silicium monocristallin solaire (Siemens) commençant en 1982.
	Italie	Parmi les firmes récemment engagées dans cette activité, mentionnons la société d'État Ansaldo (dispositifs et modules au silicium monocristallin), Solaris (licencié de Solarex), Elias (licencié de Solec International) et ACE (Siemens).

TABLEAU 2 suite

	Pays-Bas	Lancement de la production de cellules et de modules chez Holecsol (technologie Solarex).
	Suisse	Construction prochaine, par Intersemix SA, d'une nouvelle usine de galettes de silicium semicristallin qui utilisera la technologie Solarex Semix.
	Royaume-Uni	Lucas / BP Solar Systems achète des cellules et les encapsule pour former des modules qu'elle utilise dans ses systèmes.
Cellules et modules au sulfure de cadmium et cuivreux	France	Cellules pulvérisées Photon Power Inc. (usine aux É.-U.).
	R.F.A.	Cellules évaporées NUKEM (Univ. de Stuttgart). Production en automne 1982.
Composants de systèmes photovoltaïques	Belgique	Les ACEC, une grande société de constructions électriques, mettent au point et fabriquent des composants de systèmes.
	France	Les groupes de la CGE fournissent des accumulateurs (Fulmen, Tudor, SAFT-CIPEL). Équipements de conditionnement et divers composants obtenus des filiales de la CGE et de petites entreprises. Les moteurs Leroy-Somer et leurs filiales fournissent tous les composants de même que des modules (France-Photon) pour former des systèmes complets. OMERA-SEGID fournit de l'équipement de transformation et fabrique des systèmes complets. La SNIAS et Jeumont-Schneider fournissent des onduleurs. De multiples petites entreprises fournissent des composants de systèmes.

TABLE 2, suite

	R.F.A.	AEG-Telefunken et Siemens, ainsi que des petites entreprises, fabriquent des composants. Varta est un grand fournisseur d'accumulateurs pour systèmes photovoltaïques.
	Royaume-Uni	Lucas et ses fournisseurs font des composants de systèmes. Oldham est un grand fournisseur d'accumulateurs pour systèmes photovoltaïques.
	Pays divers	De multiples petites et grandes entreprises fournissent des régulateurs et de l'équipement de transformation.
Systèmes complets	Belgique	ENE fournit des systèmes. Les ACEC sont activement engagés dans la fabrication de systèmes.
	Danemark	Danish Energy Technique Ltd.
	France	Photowatt, les Moteurs Leroy-Somer, OMERA-SEGID et la SAFT-CIPEL sont des fournisseurs de systèmes très en vue.
	R.F.A.	AEG-Telefunken et Dornier System GmbH sont des fournisseurs importants.
	Italie	SES est engagé dans la fabrication de systèmes.
	Royaume-Uni	Lucas / BP fournit des systèmes complets. Solarpak fournit des systèmes et de l'équipement de transformation qui utilisent les modules Solarex. General Technology Systems Ltd. met au point des réfrigérateurs photovoltaïques.
Équipement spécial aux systèmes photovoltaïques	Tous les pays de l'Europe de l'Ouest	Moteurs, pompes, réfrigérateurs, lampes fluorescentes, etc. à faibles pertes en cours de fabrication ou de développement dans la plupart des pays.

La recherche et le développement en Europe occupent beaucoup plus de place que les efforts industriels dont il vient d'être question. Le tableau 3, qui est trop long pour être inséré dans ce sommaire, cite les nombreuses sociétés, laboratoires du secteur public et universités qui oeuvrent dans ce domaine dans tous les pays de l'Europe de l'Ouest.

Comme aux États-Unis, les objectifs des programmes nationaux des pays européens sont l'abaissement du prix des systèmes photovoltaïques et l'élargissement des marchés. Actuellement, le prix le plus bas des modules disponibles en Europe (France et Allemagne de l'Ouest) est comparable à celui des États-Unis, soit 10 $/Wc et celui des systèmes installés va de 20 à 30 $/Wc. Ces derniers comprennent les régulateurs, les accumulateurs, les onduleurs, etc. En France, l'objectif, qui semble typique et atteignable, est de parvenir à un prix par watt crête de 3 à 4 $ pour les modules, en 1985, et de 8 à 15 $ pour les systèmes. Cet objectif est beaucoup moins ambitieux que celui des États-Unis (0.80 $/Wc en 1986, en dollars de 1980), mais on pense que, s'il est atteint, il ouvrira un grand nombre de nouveaux marchés dans les endroits isolés.

L'organisation et le financement des programmes nationaux en 1980, année la plus récente pour laquelle on dispose de données complètes, fait l'objet d'une description détaillée dans la présente étude. Les deux plus importants programmes sont ceux de la France et de l'Allemagne de l'Ouest. En voici un résumé:

France: Les programmes sont partiellement financés et largement coordonnés par le Commissariat à l'énergie solaire (COMES), groupe d'État puissant et bien dirigé. En 1980, le budget du COMES, lequel prévoyait des sujets allant de la R et D aux installations de systèmes, était de 4,6 millions de dollars (environ 7,5 millions de dollars en 1981). Les contributions des autres services officiels, pour les installations publiques et dans le tiers monde (surtout en Afrique), sont estimées à trois ou quatre fois cette somme. Le secteur privé effectue également des contributions, mais aucun chiffre n'est connu.

L'exploitation commerciale (modules et systèmes) est surtout le fait de Photowatt International SA, membre du groupe CGE (Compagnie générale d'électricité), et de

France-Photon qui appartient conjointement aux Moteurs Leroy-Somer et à Solarex. OMERA-SEGID est un important fabricant de systèmes, et beaucoup de petites sociétés font des composants de systèmes. De nombreux laboratoires des secteurs public et privé et des universités participent à l'effort français de R et D.

Allemagne de l'Ouest: Les activités des laboratoires du secteur public dans le domaine photovoltaïque sont subventionnées et coordonnées par le Ministère fédéral de la recherche et de la technologie et administrées par le Groupe de gestion des recherches sur l'énergie (PLE) de l'Établissement de recherches nucléaires de Jülich (KFA). Le programme met l'accent sur la commercialisation des nouvelles technologies dans le plus court délai possible, et le secteur privé est tenu de contribuer au financement des travaux. La participation des laboratoires du secteur public n'est pas très grande. Une grande partie de la recherche à long terme est effectuée dans les universités. En 1980, les dépenses totales (publiques et privées) pour la recherche, le développement et les démonstrations (R, D et D) s'élevaient à 58 millions de dollars environ.

Les grandes entreprises dans le domaine des dispositifs et des modules photovoltaïques sont Wacker-Heliotronic, qui fournit du silicium à de nombreux pays, et AEG-Telefunken qui fabrique des dispositifs, des modules et des systèmes au silicium polycristallin. Siemens, grand fournisseur de silicium monocristallin de l'industrie des semiconducteurs, a l'intention de produire des matériaux photovoltaïques et oeuvre déjà activement dans les systèmes photovoltaïques. Un grand nombre de petites sociétés fabriquent des équipements de systèmes.

Quant aux autres pays, dont beaucoup augmentent rapidement leur effort dans le photovoltaïque, l'étude fait part de leur situation. Mentionnons l'Italie, dont l'industrie progresse rapidement, et la Belgique, qui a lancé la production industrielle d'une cellule économique au silicium, où l'application des produits de dopage, des électrodes, des couches antireflet, etc. se fait par sérigraphie. La plupart des autres pays sont surtout engagés dans la R et D, la fabrication de systèmes ou les deux.

L'enthousiasme et l'organisation dont l'Europe fait preuve dans le domaine du photovoltaïque, ainsi que le dynamisme des grands groupes industriels, nous autorisent à conclure que les pays de l'Europe de l'Ouest (y compris la Grèce) joueront, en ce domaine, un rôle de premier plan sur la scène mondiale.

1. INTRODUCTION

La présente étude se propose d'exposer les activités techniques qui sont en cours (1981) en Europe de l'Ouest, dans le domaine du photovoltaïque: recherche, développement et applications technologiques, production de matériels. Les renseignements sur ces activités proviennent de documents communiqués par la Commission des communautés européennes (CCE) et par l'Agence internationale de l'énergie et des programmes des principaux acteurs tels que la France et l'Allemagne de l'Ouest. Des points de vue et des opinions moins officiels ont aussi été obtenus de personnes qui sont bien placées dans le monde européen du photovoltaïque et bien informées sur les programmes publics, privés et universitaires relatifs aux dispositifs et aux systèmes photovoltaïques.

Pour l'observateur extérieur, l'une des plus importantes caractéristiques de la scène européenne est le grand enthousiasme dont font preuve les participants à tous les stades de l'activité. Ils sont visiblement convaincus de l'importance de la contribution que l'énergie photovoltaïque peut apporter, à brève échéance, à la qualité de la vie dans les régions reculées des pays en développement et dans les lieux isolés de l'Europe même. Ils ont également la conviction que, à longue échéance, l'énergie photovoltaïque assumera une part appréciable (plusieurs unités pour cent) de la demande d'électricité dans de nombreux pays.

Certaines des causes de cet enthousiasme général se dégagent à la lecture des grandes lignes du Programme de recherche et de développement sur l'énergie 1979-1983 de la CCE (publié à Bruxelles le 4 août 1978) et d'entretiens avec les administrateurs et les conseillers des programmes nationaux. Brièvement, voici quelques-uns des facteurs à l'origine de ce parti pris:

(i) Les dispositifs photovoltaïques transforment à la fois la partie diffusée et la partie directe de la lumière solaire et sont, par conséquent, les dispositifs les plus prometteurs pour la production d'électricité à partir du rayonnement solaire, compte tenu du climat relativement défavorable de l'Europe.

(ii) Dans la majeure partie de l'Europe, les centrales photovoltaïques seront

préférables aux centrales solaires thermomécaniques parce que le côté économique de ces dernières n'est favorable qu'aux grandes installations. De plus, outre leurs avantages par lumière diffuse, les panneaux photovoltaïques sont statiques, se passent pratiquement d'entretien et peuvent être mieux intégrés au paysage.

(iii) Même en 1978, une batterie d'accumulateurs chargés par un panneau photovoltaïque était plus économique que des piles sèches.

(iv) Vers 1983-85, les panneaux photovoltaïques à plaques planes (sans concentration) soutientdront la comparaison avec les groupes diesel, au moins jusqu'à 10 kW.

(v) Dans les villages isolés des pays en développement, il suffit de 10 W par habitant pour la télévision, la lumière, les moulins, etc., et, dans le monde, il y a un milliard de personnes dans cette situation. Les marchés en puissance sont énormes dans ces régions.

A la lumière de ces facteurs et de l'attitude générale des artisans du photovoltaïque, il n'est pas surprenant que l'effort industriel dans ce domaine ait commencé à se développer au début de 1980. En dehors d'un gros effort de R et D, surtout sur les dispositifs et les modules photovoltaïques, dans les universités, les laboratoires du secteur public et les grosses sociétés, il existe une foule de grandes et de petites entreprises qui étudient et fabriquent des éléments complémentaires tels que régulateurs, convertisseurs (continu-continu et continu-alternatif), accumulateurs, moteurs et pompes, spécialement pour les applications solaires photovoltaïques.

2. SOUTIEN INTERNATIONAL DES ACTIVITÉS EN EUROPE

2.1 Aide de la Commission des communautés européennes

Cet organisme est la plus grande source internationale d'aide aux activités dans le domaine photovoltaïque en Europe. Son "Deuxième programme de R et D sur l'énergie solaire 1979-83", qui est maintenant à moitié exécuté, totalise 46 millions

d'unités de compte européennes (UCE), ce qui, en février 1981, équivalait à 56,6 millions de dollars américains*. Huit expériences en font partie, dont celle de génération d'électricité photovoltaïque (projet C). Les autres portent sur les applications de l'énergie solaire aux habitations, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne, etc. Le budget de l'énergie photovoltaïque, pour la période ci-dessus, est de 15,9 millions d'UCE, soit environ 19,6 millions de dollars.

Les marchés de recherche et de développement ainsi financés sont répartis dans huit pays, et la plupart courent de juillet 1980 à juin 1983. Le financement CCE est de 3.75 millions d'UCE, soit 4,6 millions de dollars ce qui fait moins de 50% du coût total. Le reste est à la charge du pays ou des organismes concernés. Ces derniers comprennent des universités, des laboratoires d'État et des sociétés. Dix-sept marchés portent sur le silicium: matériau de qualité solaire, techniques des rubans en couche mince, méthodes d'encapsulation employées pour la formation des modules. Le silicium amorphe fait partie des matériaux de remplacement, et il y a six marchés sur ce matériau, dont trois au R.-U. Il y a aussi six marchés sur le CdS-Cu_2S, dont cinq en France. Le dernier matériau de remplacement est le CdSe, et il y a un marché (en Allemagne de l'Ouest) sur ce matériau. Il y a trois marchés d'étude de systèmes et cinq sur les méthodes de concentration, y compris la concentration fluorescente et le dédoublement de faisceau. Le nombre de marchés de R et D s'élève donc à 37. Il y a, de plus, trois marchés sur les mesures spectrales dans le cadre du projet F (données sur le rayonnement solaire). Quinze de ces quarante marchés sont en France, huit en Allemagne de l'Ouest et cinq en Italie. La France et l'Allemagne de l'Ouest ont dominé la scène pendant quelque temps, mais l'Italie fait maintenant un effort acharné pour partager la vedette.

En plus de l'aide ci-dessus à la R et D, 11 millions de dollars sont affectés, sur une période de deux ans (1981-83), aux dix-neuf expériences pilote énumérées au tableau 1. Cette subvention représente environ un tiers du coût total de ces réalisations, le reste étant pris en charge par l'État ou par des groupes industriels

* 1.0 UCE = 1.23 $ÉU
Les autres taux dans la suite de cette étude sont des moyennes annuelles prises dans les statistiques financières internationales du FMI.

TABLEAU 1

Caractéristiques des expériences pilote

Puissance de crête en kW	Lieu	Application
300	Île de Pellworm (R.F.A.)	Centrale d'un centre de vacances (Kurhaus)
100	Vester Beogobjerg près de Korsoer (Danemark)	Centrale de village
100	Île de Kythos (Grèce)	Centrale de village
80	Île d'Alicudi (Italie)	Électrification d'une île de 120 habitants
80	Marchwood près de Southampton, puis une île d'Écosse (R.-U.)	Centrale reliée au réseau
70	Vérone (Italie)	Pompage d'eau douce
65	Îles de Tremiti (Italie)	Dessalement de l'eau
60	Île de la Réunion, ocean Indien (France)	Alimentation de 100 habitations situées dans un ancien cratère de volcan
50	Montpellier (France)	Alimentation de l'émetteur FM de l'ORTF
50	Nice (France)	Gestion et régulation de l'électricité à l'aéroport de Nice
50	Île de Fota près de Cork (Irlande)	Alimentation d'une ferme laitière
50	Île de Terschelling (Pays-Bas)	Centrale d'une école de marine
50	Île de Crete (Grèce)	Électrification d'un village isolé
45	Île de Giglio (Italie)	Désinfection de l'eau, fabrication de glace pour un frigorifique agricole
44	Rondulinu Cargese, Corse (France)	Alimentation d'habitations, d'une laiterie, d'un atelier et d'une pompe à eau
40	Chevetogne, province de Namur (Belgique)	Alimentation d'une piscine à chauffage solaire
40	Adrano, près de la centrale "Eurelios"	Comparaison avec la centrale solaire thermodynamique d'Eurelios
40	Olen, province d'Anvers (Belgique)	Production d'hydrogène par électrolyse pour l'usine de semiconducteurs d'Hoboken
30	Erpeldange (Luxembourg)	Alimentation du réseau pendant les pointes parallèlement à une centrale hydro-électrique

du pays en question. Les puissances s'échelonnent de 30 kWc* à 300 kWc. Ce dernier chiffre est le fait d'une installation qui, une fois achevée, sera la plus grande au monde parmi celles qui utilisent des plaques planes de silicium. Comme indiqué sur le tableau, plusieurs des installations photovoltaïques sont couplées à d'autres sources d'énergie. Dans le cas de la piscine à chauffage solaire de la Belgique par exemple, la chaleur est fournie par des collecteurs thermiques solaires, et les pompes sont alimentées par le générateur photovoltaïque.

Il est peut-être bon de souligner que ces expériences pilote et les travaux de R et D ci-dessus ont été choisis par voie d' "appels d'offre" et que les gagnants ont été déterminés par la Commission en collaboration étroite avec les états membres.

D'autres points importants ont été mentionnés par les administrateurs de projets de la CCE (MM. W. Palz et G. Grassi); les voici:

1) Les réalisations subventionées par la CCE ne sont par considérées comme des démonstrations mais comme des expériences pilote. Il est à espérer que l'expérience gagnée permettra de construire des centrales photovoltaïques plus grandes et plus adéquates.

2) Aucune centrale de moins de 5 kWc ne sera subventionée par la CCE. On préfère les laisser à la charge des entreprises commerciales.

3) Les expériences subventionnées par la CCE font travailler tous les secteurs de l'industrie photovoltaïque de l'Europe de l'Ouest.

4) La CCE subventionne entre 25 et 50 % du coût des expériences choisies. Une expérience qui nécessite une aide inférieure à 25% ne sera pas retenue.

* Le nombre de watts crête (Wc) fourni par un module photovoltaïque ou un groupe (réseau) de modules représente son rendement lorsque l'ensoleillement incident est de 1000 watts (1.0 kW) par mètre carré (m^2) à une température ambiante spécifiée (par ex. 25° C).

Outre les programmes ci-dessus, la CCE remplit les fonctions suivantes:

a) En collaboration avec les commissions de l'énergie solaire des divers pays et les associations techniques, elle organise, tous les dix-huit mois, les congrès des pays européens sur l'énergie solaire photovoltaïque qui sont bien connus et, au besoin, des ateliers sur des sujets spéciaux dans le domaine du photovoltaïque, tels que la conception et la construction des systèmes.

b) Elle exploite un centre d'essais photovoltaïques au Centre mixte de recherche de l'Établissement d'Ispra, en Italie, et parraine le Groupe européen de travail qui se consacre aux essais photovoltaïques et organise des essais en rotation dans plusieurs laboratoires.

c) Dans le cadre des accords de coopération actuels avec les pays en développement, elle a commencé à subventionner un certain nombre d'installations photovoltaïques prototypes, en particulier pour le pompage de l'eau en Afrique.

d) Elle subventionne et coordonne la production de l'Atlas européen du rayonnement solaire. Le premier volume, qui traite du rayonnement global sur les surfaces horizontales, a été publié en 1979.

2.2 Activités des organismes mondiaux

Les organismes mondiaux qui favorisent l'utilisation de l'énergie photovoltaïque dans les pays en développement sont l'UNESCO et la Banque mondiale. Des ingénieurs conseil et des sociétés de divers pays d'Europe oeuvrent dans des expériences de ce genre -- exemple: essai de pompes solaires pour de petites applications d'irrigation dans le tiers monde. Il s'agit respectivement de Sir William Halcrow and Partners, de Londres, et de divers fournisseurs européens et américains de cellules photovoltaïque et d'équipement connexe.

Un organisme joue un rôle dans l'évaluation et l'encouragement de la R et D sur l'énergie; c'est l'Agence internationale de l'énergie par l'entremise de son comité sur la recherche et le développement énergétiques. Pour ce qui est de la présente étude, les rapports de l'AIE ont l'inconvénient de ne pas comprendre les chiffres de

la France pour la simple raison que ce pays ne fait pas partie de l'AIE. Le tableau des dépenses publiques pour la recherche, le développement et les démonstrations (R, D et D) énergétiques de 1980* préparé par l'AIE est néamoins intéressant, car il montre la somme dépensée en R, D et D photovoltaïque par chaque pays membre de l'AIE et son rapport avec les dépenses totales de ce pays pour la R, D et D énergétique. On voit ainsi que les dépenses de l'Allemagne de l'Ouest pour le photovoltaïque (contribution au programme de la CCE non compris) représentaient 29 % de celles des États-Unis, tandis que celles du Japon en représentaient environ 8 %. En pourcentage des dépenses totales pour l'énergie, la Grèce était en tête avec 5,6 % pour le photovoltaïque, l'Allemagne suivait avec 3,6 %, puis les États-Unis avec 3,1 % et l'Australie avec 3 %. Le Canada était loin derrière avec 0,33 %.

3. SITUATION GÉNÉRALE DE L'INDUSTRIE PHOTOVOLTAÏQUE EN EUROPE

En Europe, comme on l'a déjà vu, la France et l'Allemagne de l'Ouest occupent une place dominante dans le domaine du photovoltaïque bien que l'Italie fasse maintenant un puissant effort pour les rejoindre. Parmi les pays plus petits, la Belgique, les Pays-Bas et l'Espagne contribuent de manière appréciable à la recherche, à la technologie des dispositifs, à la conception des systèmes et à leurs applications. Le Royaume-Uni fait des contributions excellentes à la recherche sur les dispositifs et, à l'autre bout de la chaîne, à la conception, au montage des systèmes et aux applications. Les pays et les sociétés qui dominent dans les différentes étapes de la fabrication des matériaux, des dispositifs et des systèmes photovoltaïques sont mentionnés sur le tableau 2 avec des observations sur la situation présente.

Avant de laisser le lecteur examiner le tableau 2 en détail, le rédacteur fera les remarques suivantes:

1) La situation décrite est celle de 1981 au meilleur de la connaissance du rédacteur. La situation en Europe évolue cependant rapidement aussi bien dans le secteur commercial que dans le secteur technique, et certains points importants ont pu être omis.

* Energy Research, Development and Demonstration in the IEA countries -1980 Review of National Programmes, publié par l'OCDE/AIE, Paris, 1981.

T2.1

TABLEAU 2

Pays et sociétés engagés dans l'industrie photovoltaïque

Produits Product	Pays Countries	Techniques et sociétés
Silicium de base	France	Mise au point d'un silicium de qualité solaire (PUK, Rhône-Poulenc Industries)
	R.F.A.	Grand fournisseur de silicium de qualité semiconducteur (Siemens) et de silicium polycristallin de qualité solaire (Wacker) pour l'Europe et ailleurs.
	Italie	L'ENI va devenir un fournisseur de silicium de base.
Dispositifs et modules au silicium	Belgique	Fabrication de cellules originales (Univ. de Leuven) au silicium mono et polycristallin par sérigraphie chez Belgosolar. Fabrication de cellules au silicium polycristallin Semix (Solarex) chez ENE.
	France	Fabrication de dispositifs et de modules au silicium mono et polycristallin par Photowatt International SA. Encapsulation en cours d'amélioration et d'automatisation. Cellules au silicium polycristallin (Solarex Semix) chez France - Photon.
	R.F.A.	Surtout des dispositifs et des modules au silicium polycristallin (AEG-Telefunken). Capacité de production supérieure à 1 MWc par an. Production de silicium monocristallin solaire (Siemens) commençant en 1982.
	Italie	Parmi les firmes récemment engagées dans cette activité, mentionnons la société d'État Ansaldo (dispositifs et modules au silicium monocristallin), Solaris (licencié de Solarex), Elias (licencié de Solec International) et ACE (Siemens).

TABLEAU 2 suite

	Pays-Bas	Lancement de la production de cellules et de modules chez Holecsol (technologie Solarex).
	Suisse	Construction prochaine, par Intersemix SA, d'une nouvelle usine de galettes de silicium semicristallin qui utilisera la technologie Solarex Semix.
	Royaume-Uni	Lucas / BP Solar Systems achète des cellules et les encapsule pour former des modules qu'elle utilise dans ses systèmes.
Cellules et modules au sulfure de cadmium et cuivreux	France	Cellules pulvérisées Photon Power Inc. (usine aux É.-U.).
	R.F.A.	Cellules évaporees NUKEM (Univ. de Stuttgart). Production en automne 1982.
Composants de systèmes photovoltaïques	Belgique	Les ACEC, une grande société de constructions électriques, mettent au point et fabriquent des composants de systèmes.
	France	Les groupes de la CGE fournissent des accumulateurs (Fulmen, Tudor, SAFT-CIPEL). Équipements de conditionnement et divers composants obtenus des filiales de la CGE et de petites entreprises. Les moteurs Leroy-Somer et leurs filiales fournissent tous les composants de même que des modules (France-Photon) pour former des systèmes complets. OMERA-SEGID fournit de l'équipement de transformation et fabrique des systèmes complets. La SNIAS et Jeumont-Schneider fournissent des onduleurs. De multiples petites entreprises fournissent des composants de systèmes.

TABLE 2, suite

	R.F.A.	AEG-Telefunken et Siemens, ainsi que des petites entreprises, fabriquent des composants. Varta est un grand fournisseur d'accumulateurs pour systèmes photovoltaïques.
	Royaume-Uni	Lucas et ses fournisseurs font des composants de systèmes. Oldham est un grand fournisseur d'accumulateurs pour systèmes photovoltaïques.
	Pays divers	De multiples petites et grandes entreprises fournissent des régulateurs et de l'équipement de transformation.
Systèmes complets	Belgique	ENE fournit des systèmes. Les ACEC sont activement engagés dans la fabrication de systèmes.
	Danemark	Danish Energy Technique Ltd.
	France	Photowatt, les Moteurs Leroy-Somer, OMERA-SEGID et la SAFT-CIPEL sont des fournisseurs de systèmes très en vue.
	R.F.A.	AEG-Telefunken et Dornier System GmbH sont des fournisseurs importants.
	Italie	SES est engagé dans la fabrication de systèmes.
	Royaume-Uni	Lucas / BP fournit des systèmes complets. Solarpak fournit des systèmes et de l'équipement de transformation qui utilisent les modules Solarex. General Technology Systems Ltd. met au point des réfrigérateurs photovoltaïques.
Équipement spécial aux systèmes photovoltaïques	Tous les pays de l'Europe de l'Ouest	Moteurs, pompes, réfrigérateurs, lampes fluorescentes, etc. à faibles pertes en cours de fabrication ou de développement dans la plupart des pays.

2) On remarquera que de nombreux arrangements entre sociétés sont des liens avec la société américaine Solarex. Cette société capable et dynamique est le premier fournisseur mondial de dispositifs photovoltaïques. Elle a adopté une politique de partage de propriété avec des groupes d'un grand nombre de pays. Selon son bulletin international, les sociétés européennes qui lui sont associées sont les suivantes:

2.1	Siège européen:	Solarex SA, Suisse
2.2	France:	France-Photon (avec les Moteurs Leroy-Somer)
2.3	Angleterre:	Solapak Limited
2.4	Italie:	Solaris SpA, Florence
2.5	Pays-Bas:	Holecsol Systems, Eindhoven
2.6	Suisse et Autriche:	Photonetics SA, Nyon (Suisse)

Une société belge, Énergies Nouvelles et Environnement (ENE), utilise aussi le silicium polycristallin Semix de Solarex dans ses cellules.

À part leur activité commerciale, les sociétés associées à Solarex font de la R et D sur les dispositifs et les systèmes, souvent en collaboration avec des groupes universitaires de leur pays.

3) La majeure partie du développement des composants et des systèmes complets est strictement commerciale. Beaucoup de réalisations sont subventionnées par la CCE et par les pays en cause, mais les sociétés survivent en vendant leurs produits. Le développement de ces derniers, sauf dans le cas de certains dispositifs et de certains modules photovoltaïques, est apparemment financé par les bénéfices faits sur les autres fabrications dans l'espoir que les ventes futures compenseront les frais de mise au point. Comme example, on a le développement d'accumulateurs spéciaux aux applications photovoltaïques. Ces accumulateurs diffèrent des accumulateurs courants par leur faible taux d'autodécharge (pertes faibles) et leur tolérance des décharges en profondeur. De plus, leur recharge risque d'être assez lente, et il peut arriver qu'ils restent incomplètement chargés pendant de longues périodes. Dans l'hypothèse où les caractéristiques des accumulateurs seraient insuffisantes, il faudrait utiliser un

réseau photovoltaïque surdimensionné et gaspiller de l'énergie pendant certaines périodes prolongées d'ensoleillement intense. Les programmes de développement des fabricants d'accumulateurs visant à satisfaire ces exigences n'ont reçu qu'une faible part de l'aide consacrée à l'énergie photovoltaïque. Les fabricants d'accumulateurs les poursuivent dans l'espoir qu'ils pourront augmenter leurs ventes aux fabricants de systèmes photovoltaïques.

4. RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT DANS LES PAYS D'EUROPE

La recherche et le développement, des études fondamentales jusqu'au développement des dispositifs et des systèmes, sont beaucoup plus etendus, en Europe, que les activités industrielles et commerciales. Cette situation est probablement due aux conditions suivantes:

1) Comme dans d'autres pays tels que les É,-U., l'Australie et le Canada, on remarque un intérêt considérable pour l'énergie photovoltaïque chez les scientifiques et une détermination à améliorer le rendement, à utiliser de nouveaux matériaux et à appliquer de nouvelles techniques.

2) Plusieurs pays ne produisent pas de cellules de leur cru, sauf sous licence Solarex, et leur effort national est juste en train de prendre forme. La Belgique et l'Italie sont dans ce cas.

Le tableau 3 expose les secteurs de la R et D photovoltaïque (y compris les études subventionnées par la CCE) qui prédominent dans les pays de l'Europe de l'Ouest et indique les grands organismes qui s'en occupent. Une partie des renseignements provient d'études maintenant terminées, mais il est supposé que l'organisme en question continue à s'intéresser au sujet. Tout comme dans le secteur industriel, la situation évolue rapidement, et il se peut que certains groupes aient été involontairement omis. On devrait quand même pouvoir se faire une idée de l'ensemble de l'effort.

Il est peut-être utile de mentionner que, pour la plupart des études citées, les meilleures sources d'information sont probablement les actes des congrès sur l'énergie solaire photovoltaïque de la Communauté européenne, qui sont distribués

TABLEAU 3

Recherche et développement dans le domaine du Photovoltaïque en Europe de l'Ouest

Secteur de R et D	Pays	Organisme
Silicium de base (polycristaux compris)	France	CGE- Laboratoires de Marcoussis CNRS, Toulouse et universités associées ENSC, Paris France-Photon (Moteurs Leroy-Somer) Nobel -Bozel Photowatt International SA Rhône - Poulenc Industries Univ. de Marseille
	R.F.A.	AEG-Telefunken, Heilbronn Consortium f. Electrochem. Industrie GmbH Siemens AG, Munich et sous-traitants universitaires Wacker - Chemitronic GmbH Wacker - Heliotronic GmbH, Burghausen
Silicium épitaxial et déposé sous vide	Belgique	Univ. catholique de Leuven
	France	PUK
	Pays-Bas	Univ. catholique de Nijmegen Univ. de technologie d'Eindhoven
Rubans et couches de silicium	France	Le Carbonne Lorraine, LEP, PUK CNRS: Bellevue, Lyon, Strasbourg Photowatt International SA.
	R.F.A.	Siemens AG et sous-traitants universitaires
Silicium amorphe	France	CEA, Grenoble CEN, Saclay CNRS: Bellevue, Meuden Ecole Polytechnique, Palaiseau Ecole Polytechnique, Paris Thomson - CSF

TABLE 3 suite

Secteur de R et D	Pays	Organisme
	R.F.A.	AEG-Telefunken Battelle Institut eV KFA Jülich Max Planck Institut Siemens AG Univ. de Kaiserlautern Univ. de Marburg Univ. de Stuttgart
	Italie	Univ. de Rome
	Pays-Bas	Univ. de Technologie de Delft
	Royaume-Uni	Plessey Research Ltd. Univ. de Cambridge Univ. de Dundee Univ. Heriot-Watt Edinburgh Univ. de Sheffield
Arséniure de gallium	France	CEES, Montpellier CNRS: Bellevue, Lyon, Toulouse Univ. de Marseille
	Irlande	Collège universitaire, Cork
	Italie	CISE SpA, Segrate Milan
	Royaume-Uni	Plessey Research Ltd.
Sulfure de cadmium et cadmium-zinc avec sulfure cuivreux	France	CEES-CNRS-USTL, Montpellier ENSC, Paris Univ. de Marseille UAM Aix-en-Provence UHA Mulhouse
	R.F.A.	W.C. Heraeus GmbH NUKEM GmbH Univ. de Dortmund Univ. de Stuttgart

T3.3

TABLE 3 suite

Secteur de R et D	Pays	Organisme
	Royaume-Uni	EMI Ltd., Hayes ICI Ltd., Runcorn Newcastle-on-Tyne Polytechnic Univ. de Durham
Cellules diverses en couches minces	Belgique	Univ. catholique de Leuven (cellules MIS & SIS) Univ. de Gand (cellules à hétérojonction)
	France	CNRS, Bellevue (jonctions CdTe) *USTL (InP/OIE et InP/CdS) *Univ. Pierre et Marie Curie, Paris (cellules à l'InSe) *Associée au CNRS
	R.F.A..	Battelle Institut, Francfort (cellules MIS au CdSe) KFA Jülich IGFV Siemens AG, Munich Univ. de Constance (cellules MIS, semiconductors de remplacement) Univ. d'Erlangen-Nuremberg (cellules MIS)
	Italie	Lab. di Ricerche di Base, Rome (cellules à jonction n-CdS/p-Si)
	Espagne	CSIC Madrid Univ. de Madrid (cellules MIS silicium-oxyde d'étain))
	Royaume-Uni	Newcastle Polytechnic (cellules $CuInSe_2$ - CdS et InP) Univ. de Southampton (théorie des cellules MIS)
Technique des cellules	Belgique	Univ. catholique de Leuven Belgosolar (Fabricable)
	Danemark	Univ. d'Aarhus

T3.4

TABLE 3 suite

Secteur de R et D	Pays	Organisme
	France	France-Photon Photowatt International SA Photon Power CNRS, Lyon CRN, Strasbourg LEP, Limeil - Brévannes
	R.F.A.	AEG-Telefunken Battelle Inst. e.V. W.C. Heraeus GmbH NUKEM GmbH Siemens AG
	Italie	Ansaldo, Gênes Solaris SpA Univ. de Naples
	Pays-Bas	Univ. catholique de Nijmegen Univ. d'État d'Utrecht
	Espagne	Univ. Politécnica de Madrid
Implantation ionique	Danemark	Univ. technique du Danemark, Lyngby
	France	CGE - Laboratoires de Marcoussis CRN - Strasbourg INPN - Alsace
	Italie	CNR- Instituto LAMEL, Bologne Univ. de Bologne
	Pays-Bas	FOM Institute, Amsterdam

TABLE 3 suite

Secteur de R et D	Pays	Organisme
Concentration et dédoublement des faisceaux (systèmes de concentration compris)	France	Boussois SA CEA, Saclay CNRS, Paris, Thiais, Toulouse, Valbonne SEP, Vernon Société national Elf-Aquitaine Société Européenne de Propulsion Univ. Paul-Sabatier, Toulouse
	R.F.A.	Ahlemann & Schlatter, Brême Fraunhofer Society for Applied Solid State Physics, Fribourg Leonhardt, Andra & Partner MAN, Munich Univ. de Karlesruhe, Brême
	Italie	Ansaldo ENEL Phoebus Inst. de physique expérimentale de Polytechnic-Torino Inst. Ricerche G. Donegani, Montedison Univ. de Milan
	Espagne	Inst. de Energia Solar (ETSIT) Univ. Politecnica de Madrid
Encapsulation	Belgium	Belgosolar (IDE) Univ. catholique de Leuven
	France	CGE - Laboratoires de Marcoussis France-Photon Photowatt International SA
	R.F.A.	AEG-Telefunken J.M. Chemie NUKEM GmbH Resart - Ihm AG Siemens AG
	Italie	Gruppo Montedison

TABLE 3 suite

Secteur de R et D	Pays	Organisme
Systèmes, composants et équipements accessoires	Belgique	IDE, ACEC
(certains aspects sont traités dans les tableaux 1 et 2)	Danemark	Danish Energy Technique Ltd. Univ. d'Odense
	France	Elf-Aquitaine France-Photon Moteurs Leroy - Somer OMERA-SEGID Photowatt International SA Pompes Guinard SEMA, SERI, SNIAS Télédiffusion de France, Montrouge CNRS, Toulouse LCIE LEP, Lemeil - Brévannes École Supérieure d'Electricité Inst. de Chimie et Physique Industrielles de Lyon
	R.F.A.	AEG-Telefunken ARGE KSB/Siemens Dornier System GmbH Siemens AG
	Pays-Bas	HOLEC Research Shell Int. Petroleum Co. Philips Eindhoven
Études fondamentales et connexes	Tous les pays cités	Multiples universités, instituts nationaux de recherche, grandes sociétés

en Amérique du Nord par la D. Reidel Publishing Company Inc., Hingham, Mass. 02043 (États-Unis). Jusqu'ici, il y a eu trois congrès à dix-huit mois d'intervalle. Le quatrième aura lieu à Stresa (Italie) en mai 1982.

5. OBJECTIFS ET MÉTHODES DES PROGRAMMES NATIONAUX

Les objectifs généraux de tous les programmes nationaux sur l'énergie photovoltaïque sont la diminution du prix, l'augmentation du rendement des sources d'énergie et l'équipment (équipment de transformation du courant, moteurs, pompes, réfrigérateurs, etc.) que ces sources alimentent. À cet égard, le programme de la France est typique, et le plus simple est peut être de l'examiner à titre d'exemple.

5.1 Prix actuels

Pour les modules, le prix minimal de 1981 en quantité est d'environ 10 $/Wc aux États-Unis comme en Europe. Des prix plus bas ont été atteints aux États-Unis dans des cas spéciaux, mais le prix courant en quantité est, en général, de l'ordre de 10 à 12 $. Le meilleur prix en Europe est comparable.

Dans les mêmes conditions, le prix d'un système installé est actuellement compris entre 20 et 30 $/Wc selon le genre de système. Ce prix comprendrait régulateurs, accumulateurs, onduleurs, etc.

5.2 Objectifs

Les objectifs du programme de la France pour 1985 sont:

(i) abaisser le prix des modules à 3 à 4 $/Wc (pour de grosses quantités et en dollars américains de 1981);

(ii) abaisser le prix des systèmes à 8 à 15 $/Wc;

(iii) prendre une bonne part du marché mondial, peut-être 20 %.

Les objectifs de l'Allemagne de l'Ouest sont probablement semblables.

Pour ce qui est des pays comme la Belgique et l'Italie, la production commence tout juste, et il se peut que de pareils objectifs ne soient pas atteints aussi vite bien que ces pays puissent probablement se tailler bientôt une place comme petits fournisseurs. Quelques activités en association avec Solarex (par ex. France-Photon) sont déjà compétitives, et leur nombre augmentera avec le temps.

Le programme de la France et ceux de l'Europe en général sont considérablement moins ambitieux que celui des États-Unis qui vise, pour 1986, un prix d'environ 0,80 $/Wc en dollars de 1981. Le sentiment général en Europe est que le programme américain d'abaissement du prix est volontairement exagéré pour stimuler la recherche et la production, mais que l'objectif ci-dessus n'est probablement pas réalisable.

5.3 Méthodes

Les méthodes choisies pour tenter d'atteindre ces objectifs sont essentiellement les mêmes en Europe qu'aux États-Unis. On peut les résumer ainsi:

5.3.1 Progrès dans la technologie des dispositifs et des modules et abaissement corollaire des prix. Comme le montre le tableau 3, les voies explorées pour atteindre ces objectifs sont nombreuses. À relativement brève échéance, elles consistent en ceci:

(i) Abaissement du prix du silicium, grâce à l'emploi de matériau de qualité "solaire", c'est-à-dire quelque peu inférieure à celle du silicium normalement utilisé dans les dispositifs semiconducteurs. La réduction de prix réalisée doit être comparée aux effets économiques du rendement inférieur des cellules. En Europe, le gros du travail, dans ce secteur, se fait en Allemagne de l'Ouest et, depuis peu, en France.

(ii) Emploi de silicium polycristallin formé de telle façon que le rendement des cellules ne soit pas très inférieur à celui qu'on obtient avec du silicium monocristallin. Le gros de l'économie réalisée dans la fabrication de polycristaux provient de l'abaissement du prix de revient des cristaux et de la quantité moindre d'électricité nécessaire au développement cristallin. Il y a aussi une réduction du

prix des modules et du prix de montage, par suite de l'amélioration du coefficient de remplissage permis par les cellules polycristallines rectangulaires. Le rendement plus faible des cellules polycristallines est ainsi plus ou moins compensé.

Ce sont des sociétés de l'Allemagne de l'Ouest (Wacker, AEG-Telefunken) qui ont été les premières à exploiter ce secteur, mais des sociétés américaines, en particulier Solarex, font maintenant un usage courant du silicium polycristallin. Semix Inc., une filiale américaine de Solarex qui produit des polycristaux, s'est récemment associée avec des industriels de Suisse, d'Italie et de France pour former, en Suisse, une nouvelle société nommée Intersemix SA, licenciée de Semix Inc. L'associé italien sous contrôle d'État, Ente Nazionale Idrocarburi (ENI), fournira le silicium de base nécessaire, parallèlement à Semix Inc.

La France fait des efforts acharnés pour créer ses propres sources de silicium polycristallin, et cela afin de remplacer le silicium (monocristallin de qualité semiconducteur et polycristallin de qualité solaire) qu'elle importe actuellement. Elle espère que ces efforts porteront fruit dans quelques années au plus. Les autres pays d'Europe de l'Ouest de même que les sociétés françaises, comme les Moteurs Leroy-Somer et OMERA-SEGID, continueront probablement à dépendre pendant quelque temps de l'Allemagne de l'Ouest et des États-Unis pour leur silicium.

(iii) Autres possibilités à court terme pour la réduction des prix et l'amélioration des techniques de fabrication et d'encapsulation des cellules. Bien que le principal élément du prix actuel soit encore le silicium de base, l'automatisation et l'amélioration des matériaux, aussi bien pour la fabrication des cellules que pour l'encapsulation, marquent des progrès considérables.

(iv) À moyen terme, peut-être avant le jalon ci-dessus de 1985-86, il est possible qu'une ou plusieurs des techniques de fabrication en couches soit pleinement utilisable, et ce de façon compétitive. Il s'agit des rubans de silicium et des couches minces de silicium amorphe ou polycristallin ainsi que des couches de sulfure de cadium et de sulfure cuivreux. Ces procédés offrent la possibilité d'éliminer les frais et les pertes de matériau occasionnés par la découpe des lingots de mono et de polycristaux.

(v) À plus long terme, de nombreuses autres couches minces ou matériaux frittés présentent des possibilités pour la fabrication de cellules à faible prix et à faible énergie. La plupart en sont au stade de la recherche, et il faudra des efforts considérables pour accroître leur rendement.

5.3.2. Achats en quantités pour les établissements publics. C'est une méthode de réduction des prix par l'augmentation de la production. Elle tend à créer une demande raisonnable et stable. Elle est particulièrement en faveur en France.

5.3.3. Démonstrations et expériences pilote financées par la Commission des communautés européennes et d'autres organismes internationaux. Les expérences pilote, que la CCE préfère aux démonstrations, servent à déterminer si les techniques mises au point sont prometteuses pour certaines applications et à gagner de l'expérience dans les centrales photovoltaïques et l'équipement connexe grâce à des installations plus petites que celles qui seront éventuellement nécessaires. Les expériences pilote du tableau 1 en sont des exemples typiques.

À part le financement international mentionné en 2.2, beaucoup d'expériences sont subventionnées en vertu d'accords bilatéraux, comme l'accord de coopération Allemagne-Argentine.

6. ORGANISATION ET FINANCEMENT DES PROGRAMMES NATIONAUX

L'objet de la présente section est de présenter brièvement les principaux programmes nationaux des pays d'Europe et de décrire leur organisation et leur financement. Pour ce qui est de quelques petits pays et de la plupart des nouveaux venus dans le monde du photovoltaïque, la situation industrielle évolue rapidement, et il se peut que certainnes observations ne soient pas complètement à jour. Les budgets nationaux sont exprimés en dollars américains de 1980, dernière année pour laquelle on dispose de renseignements complets.

Autriche (ne fait pas partie de la CEE): Le budget de l'État pour la R et D photovoltaïque était de 0,83 million de dollars, soit 15 % du total consacré aux

énergies renouvelables. Il n'y avait aucun financement privé officiel de la R et D photovoltaïque.

Belgique: Le soutien du programme photovoltaïque relève de la politique du Ministère des sciences. En 1980, l'aide à la R et D était de 0.37 million de dollars soit 6,3 % du budget des énergies renouvelables.

Les activités commerciales sont énumérées au tableau 2. On remarquera la solution originale de Belgosolar, laquelle consiste à appliquer les matériaux par sérigraphie à tous les stades clé de la fabrication. Deux des expériences pilote de la CCE (tableau 1) ont lieu en Belgique.

Danemark: Le budget de l'État pour la R et D photovoltaïque était de 40 000 $, soit 1 % du total consacré aux énergies renouvelables. Cette somme semble avoir été dépensée en grande partie dans les universités. Une expérience pilote de 100 kW de la CCE est en cours au Danemark.

France: Les programmes sont partiellement financés et en grande partie coordonnés par le Commissariat à l'énergie solaire (COMES), groupe puissant et bien dirigé dont le budget pour le photovoltaïque était, en 1980, d'environ 4,6 millions de dollars (environ 20 % du budget des énergies renouvelables). En 1981, le chiffre correspondant est d'environ 7,5 millions de dollars. Ces chiffres comprennent la R et D, la mise au point des systèmes et les expériences pilote faites par les laboratoires du secteur public (par ex. les laboratoires du CNRS), du secteur privé et des universités (tableaux 2 et 3), mais il ne comprennent pas les contributions des sociétés aux travaux subventionnés. Les autres contributions de l'État dans le cadre des ministères, des achats faits pour les organismes publics, des projets du tiers monde, etc. atteignent peut-être trois ou quatre fois les chiffres ci-dessus. Ils comprennent probablement beaucoup de gros achats commerciaux, mais il est difficile d'obtenir des renseignements exacts.

L'un des grands fournisseurs de modules figurant au tableau 2, France-Photon, appartient pour 50 % aux Moteurs Leroy-Somer et pour 50 % à Solarex (É.-U.). Photowatt International SA appartient majoritairement à la Compagnie générale

d'électricité (CGE)* par l'entremise d'une société de holding, la Société française des photopiles (SFP), et d'une filiale, la SAFT Corporation of America. Une société américaine associée, Photowatt International Inc. avait auparavant un accord de propriété et de licence avec la Dyneer Corp. (É.-U.) par l'entremise de la filiale de cette dernière, Sensor Technology Inc. Cet accord a pris fin, et Photowatt Inc. appartient maintenant totalement au groupe français, qui cherche un nouvel associé américain.

La position de Photowatt International SA s'est considérablement renforcée, début 1981, quand cette société a acquis une usine moderne et bien organisée à Caen, en Normandie, qui appartenait auparavant à la Radiotechnique Compelec (RTC), filiale de Philips d'Eindhoven. La RTC a conservé un petit intérêt puisqu'elle possède 14 % de la SFP. Elf Aquitaine, la société pétrolière nationale de la France, possède 35 % de la SFP.

Un grand nombre de petites sociétés, ainsi que des divisions des grandes sociétés citées au tableau 2, fabriquent de l'équipement de régulation et de transformation du courant plus des pompes, des moteurs, des lampes, des réfrigérateurs, etc. conçus spécialement pour être alimentés par des générateurs photovoltaïques. Deux fabricants d'accumulateurs de la CGE, Fulmen et Tudor, font des accumulateurs particulièrement bien adaptés aux applications photovoltaïques. SAFT-CIPEL, le géant des accumulateurs, est aussi une filiale de la CGE. Une caractéristique importante de la situation en France, qui se dégage du tableau 3, est la prédominence des laboratoires d'État, en particulier du CNRS, dans la R et D photovoltaïque. Dans de nombreux cas, ces laboratoires, parfois en collaboration avec des groupes universitaires, font une grande partie de la recherche fondamentale; cette dernière est ensuite continuée par des laboratoires privés comme les Laboratoires de Marcoussis, puis exploitée commercialement s'il y a lieu. Comme exemple de ce processus, il y a la technologie des rubans de silicium RAD qui a fait des progrès rapides bien qu'elle soit en retard de deux ans environ sur les technologies américaines comparables dont la mise au point s'est faite sur une periode beaucoup plus longue.

*La CGE est un vaste groupement dont la nationalisation est imminente.

Allemagne de l'Ouest (République fédérale d'Allemagne): Les activités de ce pays dans le domaine du photovoltaïque terrestre sont subventionnées et coordonnées par le Ministère fédéral de la recherche et de la technologie. Elles sont administrées par le Groupe de gestion des recherches sur l'énergie (PLE) de l'Établissement de recherches nucléaires de Jülich (KFA). Le programme met l'accent sur la commercialisation des nouvelles technologies dans le plus court délai possible et donne la préférence au secteur privé plutôt qu'aux laboratoires de l'État. Une grande partie de la recherche à long terme est effectuée dans les universités.

En raison de la politique ci-dessus, le secteur privé effectue 92 % de la R et D non nucléaire sur l'énergie, financée par l'État. Le secteur privé est tenu de contribuer au financement des travaux. La part de l'État est normalement de 50 %, mais elle est souvent plus grande dans le domaine photovoltaïque parce que ce secteur est considéré comme comportant un risque élevé. Dans le cas des travaux sur le silicium amorphe par exemple, la part de l'État atteint 80 % dans les grandes sociétés et 100 % dans les universités et les instituts de recherche. Le sulfure de cadium et le sulfure cuivreux bénéficient de mesures semblables. Dans le cas des travaux plus proches de la réalisation industrielle, comme les systèmes photovoltaïques, la participation de l'État est habituellement de 50 %, mais elle descend à 33 % dans le cas des mises au point relatives à la production.

En 1980, les dépenses publiques pour la R, D et D photovoltaïque étaient de 38,1 millions de dollars. Cette somme représente environ 65 % de l'effort total, ce qui fait que la part du secteur privé (surtout de l'industrie) était d'environ 20 millions de dollars. Le chiffre ci-dessus de 38,1 millions de dollars représente 58 % de la somme consacrée a toutes les énergies renouvelables. En valeur absolue, c'est moins qu'aux États-Unis, mais un peu plus, semble-t-il, qu'en France. Outre sa contribution normale à la recherche sur l'énergie au sein de la Communauté européenne, l'Allemagne apporte une contribution substantielle à l'AIE, mais les renseignements dont dispose le rédacteur ne permettent pas de chiffrer la part des contributions qui va à l'énergie photovoltaïque.

Parmi les sociétés allemandes citées aux tableaux 2 et 3, le plus important fournisseur de modules et de systèmes est AEG-Telefunken. Siemens est assez fortement engagé dans les systèmes et espère devenir fournisseur de modules. Le fournisseur important de silicium de base pour l'Allemagne et beaucoup d'autres pays est Wacker-Heliotronic GmbH. Un grand nombre de petites sociétés fabriquent des composants photovoltaïques et du matériel destiné à être alimenté par des générateurs photovoltaïques. Varda est un fournisseur d'accumulateurs pour applications photovoltaïques qui est très connu en Europe.

Le projet de production de cellules au CdS-Cu_2S lancé par NUKEM est particulièrement intéressant. Les cellules fabriquées selon cette technique (mise au point par le prof. W.H. Bloss à l'université de Stuttgart) ne souffrent apparemment pas de la détérioration qui est commune à beaucoup de cellules fabriquées à partir de ces matériaux, et elles se groupent commodément pour former des modules dont le rendement se situe entre 5 et 7 %.

Grèce: En 1980, la R, D et D dans le domaine du photovoltaïque a bénéficié de subventions se chiffrant à 0,47 million de dollars, ce qui représente 15,7 % du budget total des énergies renouvelables. La Grèce est entrée relativement tard dans ce domaine, mais son budget augmente rapidement. Comme l'indique le tableau 1, deux grandes expériences pilote de la CCE ont lieu en Grèce.

Irlande: En 1980, le budget de l'Irlande était de 70 000 $, ce qui représentait 5 % du budget total des énergies renouvelables. Les efforts actuels, subventionnés à 50 % environ par la CCE, semblent surtout consacrés à l'amélioration du réseau de rayonnement solaire, aux mesures spéciales et à leur analyse et à la R et D universitaire. Une centrale de 50 kW subventionnée par la CCE (tableau 1) est aussi en voie de réalisation.

Italie: En 1980, le budget de R, D et D du gouvernement italien qui était consacré au photovoltaïque atteignait 6,74 millions de dollars, ce qui en valeur absolue en faisait le cinquième du monde (après la Japon) et représentait 30 % du budget total des énergies renouvelables. Les subventions aux énergies renouvelables ont montré une augmentation réelle de 148 % de 1978 à 1980, les

plus grandes augmentations relatives allant à l'électricité solaire (générateurs à énergie thermique et générateurs photovoltaïques). Les mesures ci-dessus font partie d'un plan quinquennal de recherche sur l'énergie préparé par le Ministère de la recherche scientifique et techologique.

L'aide publique à la R et D photovoltaïque est dispensée à l'industrie à l'occasion de travaux de recherche subventionnés ainsi qu'aux universités. Le secteur industriel comprend vraisemblablement les sociétés appartenant à l'État telles qu'Ansaldo, le fabricant de cellules photovoltaïques, et l'ENI, la société des hydrocarbures qui va devenir un fournisseur de silicium de base. La contribution de l'industrie aux travaux subventionnés est égale à environ 90 % de celle de l'État.

La société nationale d'électricité, l'ENEL, étudie activement les aspects utilitaires de l'énergie photovoltaïque en Europe et détient un marché de la CCE pour la mise au point d'un module concentrateur de 100 watts.

Le secteur commercial de l'Italie comprend, outre Ansaldo qui fabrique des panneaux de silicium monocristallin, Solaris SpA, société créée conjointement par Montedison SpA et Solarex, ELIAS, licenciée de la société américaine Solec International, et Adriatica Componenti Elettronici SpA (ACE) qui prévoit de se lancer dans la production en utilisant la technique Siemens (monocristaux).

Cela ne fait aucun doute, c'est en partie à cause de son climat que l'Italie est le siège de cinq des expériences pilote de la CCE mentionnées au tableau 1. Un autre projet italien de 1 mégawatt celui-là, qui mettrait Ansaldo en cause, est à l'étude.

Pays-Bas: En 1980, le budget du photovoltaïque était de 3 millions de dollars, soit 16,6 % du budget total des énergies renouvelables. Cette somme a été principalement dépensée dans les universités et à des travaux subventionnés dans l'industrie. La contribution de l'industrie était égale à environ 37 % de la somme ci-dessus.

L'un des principaux industriels dans le domaine du photovoltaïque est Holecsol, un fabricant de systèmes qui se prépare actuellement à la production de cellules et de

modules selon la technologie Solarex. Cette société compte pouvoir produire 2MW par an. Philips d'Eindhoven, après la vente à Photowatt SA de son usine de cellules et de modules située en France, semble avoir abandonné la fabrication des dispositifs et des modules, mais conserve apparemment un intérêt dans le développement des systèmes et des équipements connexes. Sa filiale française, OMERA-SEGID, est particulièrement forte dans ce secteur, mais la maison mère d'Eindhoven s'y intéresse également. Il serait surprenant qu'on n'assiste pas au développement de nouvelles cellules photovoltaïques intéressantes.

Espagne (ne fait pas partie de la CEE): Nouvelle venue dans le domaine du photovoltaïque, l'Espagne a dépensé, en 1980, 0,91 million de dollars en R et D photovoltaïque, soit 5,3 % de son budget total des énergies renouvelables. Les budgets de ces énergies ont augmenté de plus de 60 % (augmentation réelle) en 1979 et en 1980. Comme le montre le tableau 3, la R et D photovoltaïque était surtout une activité universitaire en 1980, et on ne dispose d'aucun chiffre sur les efforts de l'industrie.

Suède (ne fait pas partie de la CEE): En 1980, les dépenses de la Suède en R et D photovoltaïque se chiffraient à 500 000 $, ce qui représentait 1 % d'un budget sur les énergies renouvelables dont les principaux éléments concernaient le chauffage et la réfrigération solaire ainsi que la biomasse. On dispose de peu de renseignements sur la participation du secteur privé aux travaux sur le phtovoltaïque bien que la Suède possède une excellente base industrielle pour un tel travail.

Suisse (ne fait pas partie de la CEE): En 1980, la Suisse a dépensé 710,000 $ en R et D photovoltaïque. Cette somme représente 8,4 % de son budget total des énergies renouvelables. Ne faisant pas partie de la Communauté économique européenne, ce pays ne participe pas aux grandes entreprises européennes, mais les efforts de son industrie sont appréciables. La Suisse s'est jointe à l'Autriche dans le cadre de la société Photonetics SA associée à Solarex. Une nouvelle usine de fabrication de modules qui utilisera le silicium Semix et la technique Solarex va être construite. Un fabricant de systèmes, Wind-Sun Energy, travaille à des applications commerciales aux Antilles et en Amérique centrale.

Royaume-Uni: En 1980, l'effort public de R et D photovoltaïque était faible, compte tenu du chiffre de la population (600 000 $ ou 2,4 % du budget des énergies renouvelables) et était en grande partie confiné aux universités. Il existe un financement interne de la R et D photovoltaïque dans le secteur privé comme le montre le tableau 3, mais son ampleur est inconnue. Les systèmes commerciaux fabriqués par les firmes britanniques telles que Lucas Energy Systems Ltd. (maintenant Lucas/BP Solar Systems) se vendent dans de nombreuses parties du monde. Solarpak Ltd., un associé de Solarex, fabrique des systèmes et de l'équipment de tranformation qui incorporent des modules Solarex. Les accumulateurs Oldham pour systèmes photovoltaïques se classent parmi les meilleurs en Europe. Pilkington Glass possède 80 % de la société américaine Solec International.

Le résumé qui précède mentionne les efforts, dans le domaine du photovoltaïque, de tous les pays de l'Europe de l'Ouest (plus la Grèce), à l'exception du Luxembourg qui est normalement associé avec la Belgique et la Norvège pays où la R et D photovoltaïque ne bénéficiait d'aucune aide de l'État en 1980. Bien qu'il soit pratiquement certaine que certains travaux se fassent dans les universités et les entreprises industrielles de Norvège, on pense que leur importance est faible, et on ne dispose d'aucun chiffre à leur sujet. Le Luxembourg est le siège d'une expérience pilote de 30 kW (tableau 1).

7. CONCLUSION

L'objet de ce survol est de brosser un tableau relativement complet de la situation du photovoltaïque en Europe de l'Ouest. Comme le montre la variété des travaux et des sujets de R et D, c'est un théâtre rempli d'action et d'enthousiasme. Le développement de pointe et les activités commerciales sont bien planifiés. La R et D offre une base solide dans des secteurs qui semblent assez près d'aboutir, comme le silicium amorphe, mais elle ne néglige pas pour autant les "coups longs" qui peuvent finir par déboucher sur des succès.

Deux aspects de la situation générale ont impressionné le rédacteur. L'un était la collaboration entre les travailleurs des différents pays sur le plan universitaire

comme sur le plan commercial. Chaque pays espère naturellement développer sa propre activité, mais les liens commerciaux et en particulier les rapports entretenus grâce à l'organisation des Communautés européennes ont suscité une attitude de collaboration qui est très encourageante.

La deuxième particularité impressionnante est le rôle joué par la Commission des communautés européennes à Bruxelles. Cet organisme semble être le plus important agent de coordination et d'orientation de l'effort européen dans le domaine photovoltaïque. Il faut féliciter le secteur des énergies renouvelables de la CCE pour l'efficacité avec laquelle il organise les diverses activités décrites précédemment et pour la façon dont il consulte les pays membres et leur fait jouer un rôle dans les grandes décisions relatives à la politique et aux marchés.

Pour conclure, il ressort que l'Europe de l'Ouest (y compris la Grèce) jouera demain un rôle de premier plan sur la scène mondiale du photovoltaïque. La forte organisation centrale, les capacités des puissants groupes nationaux comme le COMES en France et le PLE du KFA de Jülich en Allemagne de l'Ouest, ainsi que le dynamisme dont font preuve les grands groupes industriels sur la scène internationale, tous ces facteurs sont de bon augure pour l'avenir de l'Europe de l'Ouest dans ce domaine.